



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2023년 8월

석사학위 논문

개발도상국의 적정 하수 차집 방법에 관한 연구
- 베트남, 방글라데시, 캄보디아를 중심으로

조선대학교 대학원

토 목 공 학 과

정 준 표

개발도상국의 적정 하수 차집 방법에 관한 연구
- 베트남, 방글라데시, 캄보디아를 중심으로

A Study on Proper Sewage Collection Methods of Developing
Countries - Vietnam, Bangladesh, Cambodia

2023년 8월 25일

조선대학교 대학원

토 목 공 학 과

정 준 표

개발도상국의 적정 하수 차집 방법에 관한 연구
- 베트남, 방글라데시, 캄보디아를 중심으로

지도교수 김 성 흥

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 4월

조선대학교 대학원

토 목 공 학 과

정 준 표

정준표의 공학석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 대 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 성 흥 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 상 준 (인)

2023년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1장 서 론	1
1.1. 연구배경	1
1.2. 연구의 목적	5
제 2장 이론적 배경	6
2.1. 하수배제방법	6
2.1.1. 개요	6
2.1.2. 하수배제방법의 비교	8
2.1.3. 배제 방식별 장단점 분석	9
2.2. 하수배제방법 선정 사례	11
2.2.1. 미국	11
2.2.2. 일본	11
2.2.3. 대한민국	12
2.3. 합류식지역의 분류식화 방안	14
2.3.1. 개요	14
2.3.2. 분류식 적용조건	14
2.3.3. 기존 및 신규시가지에 대한 배제방법 비교	14
제 3장 연구대상지의 특성	16
3.1. 베트남	16
3.1.1. Viet Tri	17
3.1.2. Ninh Binh	17

3.1.3. Hung Yen	18
3.2. 방글라데시	18
3.2.1. Chittagong	20
3.2.2. Dhaka	20
3.3. 캄보디아	21
3.3.1. Siem Reap	22
3.3.2. Phnom Phen	23
제 4장 연구대상지역의 하수도 현황 및 배제방식 검토	24
4.1. 베트남	24
4.1.1. 도시현황	24
4.1.2. 배제방법 검토	33
4.2. 방글라데시	36
4.2.1. 도시현황	36
4.2.2. 배제방식 검토	41
4.3. 캄보디아	48
4.3.1. 도시현황	48
4.3.2. 배제방식 검토	56
제 5장 결 론	57
5.1. 결 론	57
5.2. 연구의 한계 및 제언	58
참고문헌	59
감사의 글	61

표 목 차

표 1.1 연대별 하수도 정책의 변천	1
표 1.2 연구지역 1인당 GNI 비교	4
표 1.3 소득수준별 수원국 구분	5
표 2.1 하수도정비계획 하수배제방법 관련 필요 조사내용	6
표 2.2 하수 배제방법의 분류	8
표 2.3 하수 배제방법의 장·단점 비교	9
표 2.4 00공공하수처리구역 관리방안 계획	13
표 2.5 기존시가지 및 장래개발지 하수배제방법 검토	15
표 3.1 베트남 일반현황	16
표 3.2 베트남 경제지표	16
표 3.3 베트남-대한민국 간 무역현황	17
표 3.4 방글라데시 일반현황	19
표 3.5 방글라데시 경제지표	19
표 3.6 방글라데시 우리나라와의 무역현황	19
표 3.7 Chittagong 인구추계	20
표 3.8 캄보디아 일반현황	21
표 3.9 캄보디아 경제지표	21
표 3.10 캄보디아-우리나라와의 무역현황	22

표 4.1 Viet Tri 하수시스템 시설계획	25
표 4.2 Viet Tri 하수시스템 자원투자계획	25
표 4.3 Viet Tri 간선개거 수질조사 결과	28
표 4.4 Ninh Binh 하수도시설계획	29
표 4.5 Hung Yen 하수도시설계획	31
표 4.6 Hung Yen 하수배제방법 비교	35
표 4.7 Chittagong 공공하수처리시설계획	37
표 4.8 Dhaka 하수처리계획	39
표 4.9 하수차집 및 이송방안 비교	43
표 4.10 Dhaka 하수배제방법 비교	44
표 4.11 Siem Reap 처리구역인구 및 가옥수	48
표 4.12 Siem Reap 공공하수처리시설 현황	49
표 4.13 Siem Reap 공공하수처리시설 수질 현황	50
표 4.14 Siem Reap 하수도시스템 확장계획	52
표 4.15 Siem Reap 주요하천 (평균)수질현황	53
표 4.16 Phnom Penh 하수시설 현황	54
표 4.18 Phnom Penh 하수처리시설 계획	55

그림 목 차

그림 1.1 연구지역 1인당 GNI 변동추이	4
그림 2.1 하수배제방법별 가옥 내 배수설비 방법 모식도	9
그림 3.1 Hung Yen 위치도	18
그림 3.2 Chittagong 위치도	20
그림 3.3 Siem Reap 위치도	22
그림 3.4 Phnom Penh 위치도	23
그림 4.1 Viet Tri 하수도 시설계획평면도	24
그림 4.2 Viet Tri 하수도사업 분류식 배수설비 단면도	26
그림 4.3 Viet Tri 오수관로 주변 지적선 현황	27
그림 4.4 Viet Tri 가옥 현장사진	27
그림 4.5 Viet Tri 정화조 및 후면하수배제 현황	28
그림 4.6 Ninh Binh 하수배제 현황	29
그림 4.7 Ninh Binh 하수처리계획도	30
그림 4.8 Hung Yen 하수배제 현황	31
그림 4.9 Hung Yen 하수처리계획도	32
그림 4.10 Viet Tri 하수수집시스템 모식도	33
그림 4.11 Chittagong 하천오염현황	36
그림 4.12 Chittagong 하수배제 및 분뇨수거 현황	36

그림 4.13 Chittagong 인접가옥 및 축구배제 현황37

그림 4.14 Chittagong 계획하수처리구역도38

그림 4.15 Dhaka 하수처리구역도40

그림 4.16 합류식 하수차집방법 모식도41

그림 4.17 분류식 하수차집방법 모식도42

그림 4.18 Dhaka 1단계 하수도계획(2010-2015)45

그림 4.19 Dhaka 2단계 하수도계획(2015-2025)46

그림 4.20 Dhaka 3단계 하수도계획(2025-2035)47

그림 4.21 Siem Reap 하수처리구역도49

그림 4.22 Siem Reap 하수처리시설 현황도50

그림 4.23 Siem Reap 가옥 현황사진51

그림 4.24 Siem Reap 오수중계펌프장 운영현황도51

그림 4.25 Siem Reap 하수시스템 계획 모식도52

그림 4.26 Siem Reap 처리구역 내 주요 소하천 현황53

그림 4.27 Phnom Penh 기존 하수관로 현황54

그림 4.28 Phnom Penh 처리구역 내 주요 소하천 현황54

그림 4.29 Phnom Penh 하수처리계획도56

ABSTRACT

A Study on Proper Sewage Collection Methods of Developing Countries – Vietnam, Bangladesh, Cambodia

Joung, Jun Pyo

Advisor : Prof. Kim, Sung Hong, Ph.D

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

The research countries, Vietnam, Bangladesh, and Cambodia, are priority partner countries for South Korea's ODA fund. With their recent rapid economic development, the issue of water pollution has become a serious national concern. These three countries are operating or planning to construct sewerage systems using the Economic Development Cooperation Fund (EDCF) of the Export-Import Bank of Korea, the World Bank (WB), the Asian Development Bank (ADB), the Japan International Cooperation Agency (JICA) and other Multilateral Development Bank (MDB) funds.

However, the concept of collecting sewerage developed by South Korean consultants often does not fit the local conditions, as they adopt inappropriate separate sewage collection systems. Therefore, this study aims to analyze the problems related to the sewer collecting system in these three countries by examining other cases funded by MDBs and proposing proper collecting methods accordingly.

For reference, the ODA funded feasibility study for sewerage projects conducted by Korean consultants is characterized by adopting a separate sewerage system, such as Viet Tri and Siem Reap city. In contrast, feasibility studies conducted

by local consultants or other developed countries adopted combined or partially separate system taking into account local conditions. It was also observed that Siem Reap wastewater treatment plant in Cambodia which was planned as a separate system, and the Pagla wastewater treatment plant in Dhaka, Bangladesh which was planned as a partial separate system, encountered difficulties in securing a sufficient quantity of wastewater for normal operation due to the low house connection rate.

In addition to the difficulties of adopting a separate sewerage system in the researching areas due to structural problems of households, there are also financial challenges to ensure the sustainability of the sewerage projects in developing countries. Compared to the combined system, the separate system has lower financial sustainability due to its higher construction and maintenance costs, which often leads to increased tariffs for users and creates a financial burden for the recipient countries.

Therefore, it is concluded that when applying the separate sewage system to the existing urban areas of developing countries, the economic scale, GNI, financial sustainability, and local site conditions should be more thoroughly investigated. In the case of existing urban areas, measures to secure the quantity of sewer for normal operation of treatment plant should be prioritized. For new development areas, the implementation of separate sewer pipelines that can effectively collect pollutants and transfer them to treatment plants should be considered as a viable option.

제 1 장 서 론

1.1. 연구배경

2000년대 대한민국 환경부는 전국적으로 공공하수처리시설이 완료된 시점에서 대두되고 있는 공공하수처리시설 유입수 저농도개선, 오염물질의 운송기능향상, 지하수와 토양 오염방지와 함께 합류식 하수배제에 따른 공공수역의 환경오염을 개선하는 목적으로 하수관로 정비사업을 추진하여 왔다. 특히 환경부는 2002년을 “하수관로 정비원년”으로 공표하여 관로정비 사업을 본격적으로 시작하였으며, 2005년부터 하수관로 민간투자사업을 수행하여 2020년에 이르기까지 하수관로 보급률을 68.2%에서 82.8%까지 끌어올렸다.(환경부, 2023)

하지만 위 기간 중 하수관로 사업은 공공하수처리시설 유입수의 저농도 개선을 위한 분류식 하수관로 사업이 주를 이루었다. 약 15년에 이르는 집중적 하수관로 분류식화 재원투입으로 공공하수처리시설의 저농도 유입하수의 문제를 어느정도 해소하였으나, 강우시 비점오염원의 공공수역 유입 문제점이 새로이 부각되었으며, 간이공공하수처리시설, 우수저류조, 초기우수처리시설, 저영향개발의 다양한 비점오염원 처리방안들이 추가적으로 도입되었다.

표 1.1 연대별 하수도 정책의 변천 (환경부, 2018)

구분	1980년대 이전 (합류식)	1980년~2000년 이전 (차집관로/처리시설)	2000년~2010년 이전 (분류식/고도처리)	2010년~현재 (강우시 하수관리)
정책 방향	<ul style="list-style-type: none"> • 침수방지 • 하수배제 - 도시계획에 따른우수관로(합류식) 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 하천 수질환경 개선 - 공공하수처리시설 및 차집관로 집중 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 우오수 분리 및 고도처리 - 하수관로 분류식화 - 하수처리시설 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> • 강우시를 고려한 하수관리 계획 수립 - 강우시 수질관리 강화 및 시설개선

특히 기존 합류식으로 운영되고 있는 구 시가지의 분류식화는 사유지, 지장물, 민원 등의 문제로 배수설비를 100% 설치하기 어려운 실정이다. 이는 기존 합류식 운영에 필요한 우수토실의 존치를 의미하며, 우수토실 미 폐쇄로 강우시 계곡수, 농업용수의 유

입수가 공공하수처리시설 처리효율을 저하시키는 주요 원인이 되고 있다. 결국 분류식 하수도 사업지역이라 하더라도 강우시 유입수의 영향을 줄이고자 우수토실에 유량계, 수위계와 연동한 적정 차집시설을 설치하여 운영하기에 이르렀다. 우리나라는 현재 분류식화 사업지역이라 하더라도 우수토실 미폐쇄 지역을 합병식 처리구역으로 명명하여 하수도정비 기본계획을 각 지자체별로 수립하고 있다.

위에 기술한 바와 같이 대한민국의 분류식 하수도 사업은 분류식 오수관로 사업 이후에 발생하는 문제점들을 보완해나가는 방법으로 추진되었음을 알 수 있다. 이러한 대한민국의 분류식 사업의 경험은 개발도상국의 하수도 개발원조사사업(Official Development Assistance, ODA 또는 차관)사업에 접목시키기에 이르렀다.

특히 본 연구대상지를 베트남, 방글라데시, 캄보디아로 설정한 이유는 대한민국 차관의 중점협력국이며, 최근 급격한 경제발전으로 공공수역의 오염 문제가 심각히 대두되고 있는 공통점이 있다.

위 세 나라는 대한민국 수출입은행 차관인 대외경제협력기금(Economic Development Cooperation Fund, EDCF) 뿐만 아니라 세계은행(World Bank, WB), 아시아개발은행(Asia Development Bank, ADB), 일본국제협력기구(Japan International Cooperation Agency, JICA) 등의 차관자금으로 하수시스템을 건설하여 공공수역 오염방지에 노력하고 있다. 연구대상지역의 나라별 1인당 국민소득(Gross National Income, GNI)을 기준으로 분석하였을 때 연구대상지의 2021년 GNI는 1,580불 ~ 3,590불로 우리나라의 1980년 ~ 1990년의 소득수준과 유사하다.

표 1.2 연구지역 1인당 GNI 비교 (World Bank, 통계청, 2023)
(단위 : USD)

구 분	1970년	1975년	1980년	1985년	1990년	2000년	2010년	...	2020년	2021년
대한민국	258	613	1,699	2,427	6,602	12,179	23,118	...	32,004	35,373
베트남	-	-	-	-	130	380	1,370	...	3,450	3,590
방글라데시	-	200	200	210	300	430	800	...	2,300	2,750
캄보디아	-	-	-	-	-	300	750	...	1,560	1,580

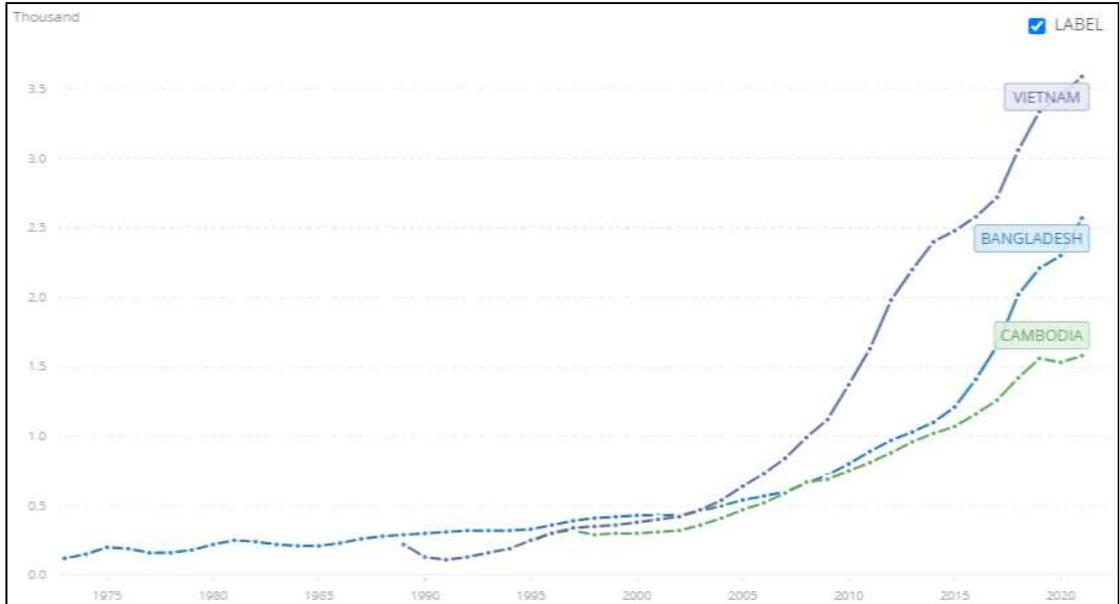


그림 1.1 연구지역 1인당 GNI 변동추이 (World Bank Index, 2023)

GNI는 차관사업에 있어서 수원국의 차관조건을 결정하는 주요 지표이다. 소득수준이 낮을수록 차관의 공여율이 높고, 거치기간이 길며 이자율이 낮은 이점이 있다. 매년 OECD DAC에서 규정한 소득순별 수원국은 아래표와 같이 구분된다.

표 1.3 소득수준별 수원국 구분 (OECD, 2023)

구 분	해당국	1인당 소득수준 기준(2021년)
최빈개발도상국	방글라데시, 캄보디아 외 44개국	-
저소득국	시리아, 북한 2개국	GNI ≤ \$1,045
중저소득국	베트남 외 35개국	\$1,046 ≤ GNI ≤ \$4,095
고중소득국	중국, 터키 외 55개국	\$4,096 ≤ GNI ≤ \$12,695

우리나라 1인당 GNI가 연구지역의 수준이었을 1980년 당시 하수도 보급률을 우선적으로 늘리는 정책을 시행하였고, 효율적으로 하수를 수집하고자 우수토실과 차집관로를 집중적으로 설치하였다. 경제적인 관점으로 보았을 때 합류식 배제방법이 기존 소하

천, 개거, 우수관을 이용하므로 건설투자비와, 유지관리비를 분류식 대비 절감 할 수 있다. 투자비와 유지관리비의 절감은 하수도시설 운영의 재무성을 개선시켜 하수도 요금을 낮출 수 있다.

우리나라의 분류식화 사업은 1인당 GNI 12,000불을 넘어서는 2000년 이후에 시행되었다. 이 당시의 선진국인 일본과 미국은 경제적인 이유로 합류식을 운영하며 비점오염의 효과적 처리에 중점을 두었으나, 우리나라는 기존 합류식 지역의 분류식 사업을 우선 시행하고 점차 비점오염물질을 처리하는 방향으로 하수도 정책이 시행되었다.

대한민국은 1996년 OECD가입 후 2000년대부터 공여국으로써 차관사업을 본격적으로 시작하였다. 차관사업을 위해서는 수원국의 사업대상지역 설정과 타당성 조사가 우선적으로 필요하다. 어떤 차관 자금으로 사업을 수행할지는 각 은행 차관의 양허율과 이자율, 거치기간, 상환방법 등을 고려하여 수원국에서 결정한다. 차관사업은 각 은행의 제시 기준에 부합하는 타당성 조사를 토대로 공여국과 수원국 간 차관약정을 맺은 후 사업을 시작한다. (KOICA, 2016)

개발도상국에 하수도 차관사업 타당성 조사에는 본 연구의 주제인 하수도 수집방법이 매우 중요하다. 타당성조사에는 수집방법에 따른 공공하수처리시설 용량결정, 하수처리공정 등의 기술적인 부분이 결정될 뿐만 아니라, 이를 토대로 사업비가 산출된다. 또한 사업비는 타당성조사의 경제성, 재무성과 전반적인 사업효과에도 영향을 미치므로 타당성조사 시 하수수집방법을 어떻게 계획하느냐가 사업성을 결정짓는 중요한 요소가 된다.

차관은 비구속성 원조와 구속성 원조로 구분되며, 대한민국 차관으로 수행된 하수도 사업은 현재까지 구속성 원조로 실시되었다. 구속성 원조란 사업 수행에 필요한 컨설턴트, 시공사 및 주요기자재 등을 공여국에서 조달하게 되는 조건부 용자를 뜻한다.

하지만 대한민국 구속성 원조로 수행된 타당성 조사는 대부분 분류식하수도 시스템으로 계획되는 것이 특징이다. 이는 공여국 컨설턴트가 과거 2000년대 중반부터 시작한 분류식 하수도 사업의 경험적 학습효과에 기인한 것으로 판단되며, 분류식 하수 수집 시스템이 연구 대상지역 현지여건과의 적합성 여부를 본 연구에서 다루고자 한다.

1.2. 연구의 목적

본 연구는 베트남, 방글라데시, 캄보디아 3개 나라 7개 도시의 하수도 차관 사업의 사례와 현장여건을 분석하여 적정 하수 수집방법에 대해서 연구하고자 한다. 연구 대상지의 선진국 또는 현지 컨설턴트에 의해 수행된 하수도 사업은 대한민국 하수도 사업과는 다르게 합류식이나 부분 분류식으로 계획되며, 분류식으로 계획되었던 개발도상국의 대한민국 하수도 차관사업은 낮은 배수설비 연결율로 하수처리시설 유입하수량 확보가 어려운 문제점이 관찰되었기 때문이다.

2021년 기준 대한민국 차관실적은 28.6억불로 OECD DAC의 권고치인 1인당 GNI의 0.7%에 못 미치는 0.15%로 나타났으며, 정책적으로 차관규모를 지속적으로 확대할 계획에 있다(국무조정실, 2023). 따라서 장래 개발도상국에 대한민국의 구속성 하수도 차관사업이 지속적으로 발생 될 것으로 예상되며, 본 연구가 사업수행에 참고자료로 활용되어 공여국인 대한민국과 수원국이 만족할 수 있는 하수도 사업이 될 수 있도록 하는데 연구의 목적이 있다.

제 2장 이론적 배경

2.1. 하수배제방법

2.1.1. 개요

하수의 배제방법에는 분류식과 합류식이 있으며, 분류식은 오수와 우수를 별개의 관로 계통으로 배제하는 방법이다. 합류식은 동일 관로로 오수와 우수를 배제하는 방법으로서 지역의 특성, 방류수역의 여건 등을 고려하여 하수배제 방법을 결정한다.

합류식은 초기강우시 도로노면의 고농도 오염물질을 차집하여 하수처리시설로 이송 및 처리할 수 있다는 장점이 있는 반면, 분류식은 초기강우를 처리할 수 없으며 처리를 위한 별도의 대책이 필요하다. 또한 분류식은 건설비가 합류식에 비해 많이 소요된다는 단점 때문에 무조건적인 분류식화를 지양하는 추세이다. 특히 환경부의 하수도정비계획 수립지침에 기존 하수 배제방법에 대해 상세히 조사하고 계획할 것을 명시하였으며, 그 내용은 아래표와 같다.

표 2.1 하수도정비계획 하수배제방법 관련 필요 조사내용 (환경부, 2020)

조사항목	내 용
하수배제방법 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 하수처리구역별 배제방법, 용도지역, 지역특수성 등을 고려한 이송 실태와 문제점 분석하여 제시
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 합류식 및 분류식의 배제방법별로 배수설비, 지선관로, 간선관로 등 단계별 구분하여 문제점 제시 • 수집단계(배수설비 등) 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 공공하수도와 배수설비 연결시의 문제점(옥내 및 옥외배수설비, 공공하수도와와의 연결) - 물받이 및 연결관 등 배수설비의 불량 또는 미설치 - 분류식지역에서 배수설비 미정비 현황 및 사유제시 <ul style="list-style-type: none"> ※ 미정비구역의 우수토실 존치 및 관리현황을 제시(해당 우수토실의 인구, 배수면적 등 포함) ※ 미정비 유역의 우수토실 현황을 관로, 처리구역을 포함하여 도면상에 나타내야 함

표 2.1 하수도정비계획 하수배제방법 관련 필요 조사내용 (환경부, 2020) (표 계속)

구 분	내 용
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 우수토실 현황, 분류식 지역에 우수토실이 있는 경우 합류식과 별도로 구분하여 현황작성 • 기존 우수토실 문제점 제시(청천시 월류가능성, 강우시 하천수위 영향, 기타 구조적 문제점 등 개량사항 도출)
하수 수집 및 이송정비의 기본방향	<ul style="list-style-type: none"> • 하수 배제 방법선정 기본방향 <ul style="list-style-type: none"> - 처리구역별 배제방법 현황 및 문제점 분석, 배제방법에 따른 방류수역 영향 등 여건 파악 - 수집·이송·처리 전과정에 대해 경제성, 환경성, 실현성 등을 종합적으로 고려하여 효과를 담보할 수 있는 방안으로 선정 - 동일처리구역 내에 배제방법이 혼재된 경우 분류식 지역에서 분리 수집된 우오수가 부적정 월류·유출되지 않고 하수처리시설까지 적정 이송하기 위한 대책 포함
배제방법 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 배제방법의 개선대책 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 배제방법 문제점 검토 및 소구역별 개선대책 제시
관로 개량계획	<ul style="list-style-type: none"> • 합류식 하수배제 지역은 CSOs 대책을, 분류식 하수배제 지역은 SSOs 및 우수관로 유출수에 대한 대책을 개량계획과 함께 수립
강우시 하수관리 대책	<ul style="list-style-type: none"> • 청천시, 강우시 구분하여 하수처리 운영현황을 분석하여 표·그래프로 제시, 연간 월류(bypass) 횟수·양, 유입 및 방류 수질 등 문제점을 분석 제시 • 강우시 시설개선 및 운전개선을 통해 최대처리능력을 확보함으로써 오염부하 삭감을 제고하고 미처리하수가 발생하지 않도록 계획수립 • 시설계획의 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 합류식지역 : 기존시설 최대활용, 강우시 계획하수량 하수처리시설 유입계획, 간이처리수 및 미처리하수 모니터링을 통한 간이공공하수처리시설 계획수립 및 중점관리 우수토실선정 제시 등 CSOs 관리계획 제시 - 분류식지역 : 강우시 공공하수처리시설 시설용량 초과 By-pass(미처리하수) 하수량 모니터링 계획 및 RDII발생량을 산정하고, 수집·이송단계(지선, 간선관로)의 RDII 저감계획 수립 및 제시, 하수저류시설 등 SSOs 시설계획 제시

합류식 배제방법은 초기강우 및 우천시 계획하수량을 하수처리시설에서 처리하기 위해서 하수처리시설의 관련 처리시설의 용량을 확대하여야 한다. 또한 초기강우의 오염도는 다소 완화시킬 수 있으나, 지속적인 강우시 오·폐수의 월류수에 의한 수질오염은 강우기간 동안 합류식이 분류식보다 더욱 악화되므로 월류수의 대책마련도 필요하다. 하수배제방법의 종류에는 아래 네가지 방법이 있다.

표 2.2 하수 배제방법의 분류

구 분	정 의
완전 분류식	신개발지 또는 재개발지에 적합한 시스템이며, 우수 및 오수를 분리·배제하는 방법
불완전 분류식	U형측구 및 관로를 포함하여 기존의 관로를 최대한 우수관로로 활용하고 오수관로만 신설하는 방법
합류식	기존지역 및 신개발지에 우·오수를 동시에 배제하는 방법
합병식	한 지역 내에 분류식과 합류식을 동시에 활용하는 방법, 일반적으로 기 개발지는 합류식으로, 신 개발지는 분류식으로 운영하는 방법

2.1.2. 하수배제방법의 비교

합류식은 단일관로로 오수와 우수를 배제하기 때문에 침수피해의 다발지역 또는 우수배제시설이 정비되어 있지 않은 지역에서는 유리한 방법이나, 우천시 관로내의 침전물이 일시에 유출되고 처리시설에 부담을 주는 문제와 우수토실로부터 일정비율 이상으로 희석된 하수가 수역으로 직접 방류되는 문제가 있다.

분류식은 오수만을 처리하는 배제방법으로 우천시에 오수를 수역으로 방류하는 일이 없으므로 수질오염상 유리하다. 재래의 우수배제시설이 비교적 정비되어 있는 지역에서는 이들의 시설을 유효하게 이용할 수 있기 때문에 경제적으로 하수도 보급을 추진할 수 있다. 그러나 분류식 하수시스템은 강우 초기에 비교적 오염된 노면배수가 우수관로를 통해 직접 공공수역에 방류되는점, 도로의 폭이 좁고 여러 가지 지하매설물이 교차되어 있는 기존 시가지에서 우수관로와 오수관로를 모두 신설할 경우 시공이 곤란한 점, 또한 분류식의 오수관로는 소구경이기 때문에 합류식에 비해 경사가 급해지고

매설깊이가 깊어지는 등의 문제점이 있다.

하수배제 방법의 일반적 모식도는 아래 그림과 같으며, 어느 하수수집방법이 유리하다고 단언할 수 없다. 하지만 국내의 신 개발지역에 대해서는 분류식 배제방법이 채택되고 있으며, 기존 합류식 하수도 시설은 장기적으로 분류식화로 계획되고 있다.

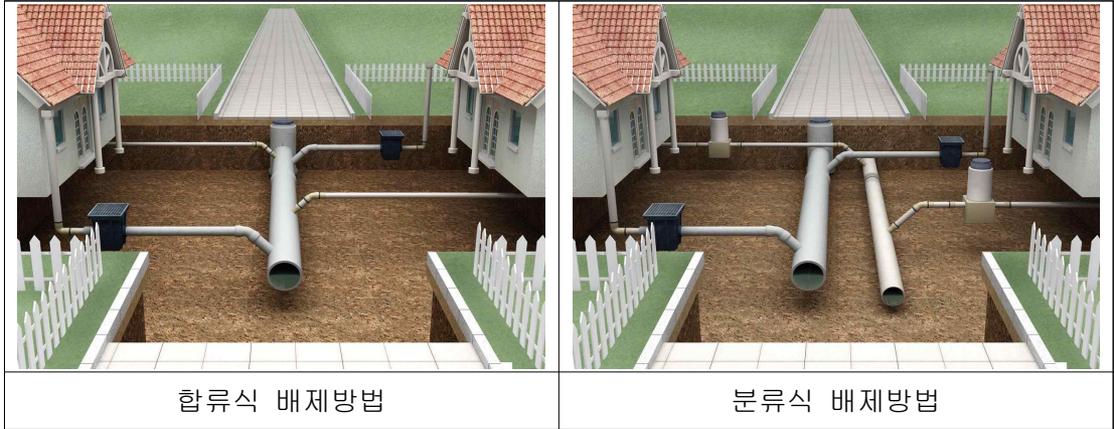


그림 2.1 하수배제방법별 가옥 내 배수설비 방법 모식도

2.1.3. 배제 방식별 장단점 분석

표 2.3 하수 배제방법의 장·단점 비교

검토사항		분류식	합류식
건설면	관로계획	우수와 오수를 별개의 관로에 배제하므로, 오수배제계획이 합리적	우수를 신속하게 배수하기 위해서 지형조건에 적합한 관로망이 구성됨
	시 공	오수관로와 우수관로 2계열을 동일 구간에 매설로 공간적 제약조건이 따름	1계열 시공으로 분류식 대비 시공이 용이함. 좁은 도로 대구경 관로 시공 시 매설에 어려움이 있음
	건 설 비	오수관로와 우수관로의 2계열을 건설하므로 합류식 대비 비경제적	1계열의 대구경 관로로 건설되므로 2계열의 분류식대비 저렴

표 2.3 하수 배제방법의 장·단점 비교(표 계속)

검토사항		분류식	합류식
유 지 관 리 면	관로오접	철저한 감시가 필요	없음
	관로 내 퇴적	퇴적이 적으나, 강우시 수세효과를 기대할 수 없음	청천시에 수위가 낮고 유속이 적어 퇴적이 쉬우나, 우천시 수세효과를 기대할 수 있음
	처리시설의 토사유입	합류식보다 작음	우천시 다량의 토사가 유입되어 수로바닥, 침전지 및 슬러지 소화조 등에 퇴적
	관로 내 보수	오구경 오수관로의 폐쇄우려가 있으나, 청소가 비교적 용이	폐쇄 염려 없고 검사 및 수리가 비교적 용이하나 분류식 대비 청소에 시간소요
수질 보전 면	우천시의 월류	없음	일정량 이상이 되면 우천시 오수가 월류
	강우초기의 노면 세정수	노면의 오염물질이 포함된 세정수가 직접 하천 등으로 유입	시설의 일부 개선 또는 개량 시 강우초기의 오염된 우수를 수용하여 처리가능
환 경 면	쓰레기 등의 투기	축구를 통한 쓰레기 불법투기	없음
	토지이용	기존 축구 존치 시 축구의 보수가 필요	기존 축구 폐쇄 시 도로폭을 유효하게 사용 가능

합류식 지역의 하수관로는 당초부터 우수배제를 전제로 설치된 관로는 아니며 우수 배제에 주안점을 두고 부수적으로 우수를 투입하도록 설치된 관로이므로 관로시설, 맨홀형상, 우수받이 설치 등을 감안할 때 합류식 하수관로보다는 우수관로에 가까워 하수 이송에 다양한 문제가 발생한다.

대표적인 문제점으로는 기존 합류식 관로의 규모가 계획우수량에 따라 결정되어 청천시 적정유속 확보가 어렵다. 이는 관내 토사퇴적 및 오염물질 침전을 유발하여 우수 배제기능이 결여된다. 또한 하수처리시설의 처리구역임에도 불구하고 분뇨정화조나 오수정화시설을 설치함에 따라 시설비, 유지관리비 등 주민의 2중 부담 발생한다. 합류식은 우수토실을 통해 우수를 차집하나 우수토실에서 차집유량 제어가 어려워 차집관로 및 하수처리시설 유지관리에 악영향을 미친다.

반면 분류식 하수배제 방식의 문제점은 분류식 하수도에 대한 이해 부족으로 인한

오점합 및 부실시공이 주요 문제이다. 분류식 지역 내에 우·오수관이 오점되어 우수토 실에서도 오수가 흘러나와 우수관로 말단부에서 차집시설을 설치하는 경우가 있으며, 우·오수관이 정상 접합이 된 지역도 주택신축 시 우수관을 우수관에 연결하는 사례가 다수 발생한다. 또한 기존 합류식 지역내의 소규모 택지개발, 재개발사업으로 분류식 하수관로 설치 시 최종 방류가 합류식 관로에 연결되므로 분류식 우수관로의 설치 효과가 감소된다.

2.2. 하수배제방법 선정 사례

2.2.1. 미국

미국은 기존에 개발된 합류식 하수도의 분류화는 기술적, 경제적으로 큰 문제를 안고 있기 때문에 현실성이 없다고 판단하고 있으며, 무엇보다도 예산의 확보가 가장 큰 문제로 지적하고 있다.

또한 신규, 재개발 지역은 우선적으로 분류식을 적용하고 기개발지에는 합류식으로 운영하되 초기우수 처리에 주력하는 것이 효과적이라는 결론을 내렸으며 초기우수 처리 대안으로 초기우수에 대한 저류설비와 예비처리를 해야 할 것으로 제안하였다.

- 합류식 하수도의 월류수(최소한의 초기우수) 저류설비
- 예비처리시설(Swirl regulator, Rough screenings)

2.2.2. 일본

일본의 경우에도 경제성장기에 이르러 기 보급된 합류식 하수도를 분류식 하수도로 교체하려는 시도를 하였으나 교체실적이 저조하였으므로 합류식 하수도 개선과 월류대책, Swirl regulator 및 우수 저류지와 침입수 방지대책 등이 활발히 연구되고 있다.

이는 기존의 합류식 하수도를 분류식 하수도로 교체하기 보다는 기존의 합류식 하수도를 그대로 이용하되 초기우수처리에 중점을 두었으며 미국의 연구결과와 같은 동향을 보이고 있다.

2.2.3. 대한민국

대한민국은 2000년대 이후부터 하천수질 개선, 도시침수 예방, 악취저감 등을 위한 분류식 하수관로를 확충하여 2007년 총 26,532km이었던 분류식 오수관로가 2020년에는 69,656km로 대폭 증가하였다. 또한 공공하수처리시설 확충 및 고도화를 병행하여 전국 하수도 보급률 향상과 방류수 수질기준 강화 등으로 하천수질 개선이라는 성과를 이루어 내었다. 이러한 정책들이 꾸준히 추진됨에 따라 현재 우리나라의 하수도는 선진국 수준의 면모를 갖추게 되었다.(환경부, 2016)

2000년도 분류식 하수관로 정비사업을 전국적으로 추진하였으나 분류식화 지역의 산재, 오수 간선관로 미비, 불량 시공·오점 등 체계적이지 못한 사업추진으로 투자대비 사업효과가 낮은 문제를 초래하였다. 이에 2018년 국회 국정감사에서 감사원에서는 오수전용관로 미설치, 우수관에 오수 유입으로 우수관을 하수처리시설 연결 등 분류식화 사업의 부적정한 사례가 확인되어 분류식화 사업의 성과평가 강화 등의 시정요구가 있었다.(환경부, 2018) 이는 지금까지의 분류식화 사업이 청천시 방류수질 달성을 위한 안정적 처리를 중심으로 시행되었음을 의미하며, 「공공하수도시설 운영·관리 업무지침(2015, 환경부)」에서는 강우시 과다하게 하수가 유입되는 상황을 비상시로 규정하고 있어 정의하고 있었다.

하지만 최근 관련 업무지침을 개정하였으며 「공공하수도시설 운영·관리 업무지침(2019, 환경부)」와 「하수도정비계획 수립지침(2020.5.18., 환경부)」에는 강우시 초과 유입되는 하수를 안정적으로 처리할 수 있는 하수도정비기본계획과 처리시설 운영 계획을 수립할 것을 규정하고 있다.

대한민국의 00시 00공공하수처리구역의 예를 들면 기존시가지와 재개발이 혼재된 지역에 분류식화 사업을 진행하였다. 하지만 민원, 사유지, 지장물 등의 사유로 가옥 배수설비 100% 연결을 달성하지 못하였으며, 기존 우수토실을 존치·운영중이다. 이 경우 청천시에 계곡수가 유입되며, 강우시에는 우수토실로 처리시설 또는 차집관로의 용량 초과 하수가 월류(Overflow)되는 상황이 관찰되었다. 00시는 강우시 초과 월류하수의 공공수역 유입방지 대책으로 다음과 같은 관리방안이 마련하였다.

표 2.4 00공공하수처리구역 관리방안 계획

구 분	관리방안
합병식지역 강우시 하수차집 방안	<ul style="list-style-type: none"> • 강우시 하수처리시설 처리능력 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 00공공하수처리시설 By-pass 설치로 강우시 초과하수 간이처리 (1차 침전+소독) 후 방류 • 강우시 중계펌프장 적정 유입유량관리 <ul style="list-style-type: none"> - 강우시 실시간 이송량 모니터링 및 차집시설 차단으로 펌프장별 적정 유입유량 관리 • 강우시 차집시설 운영방안 <ul style="list-style-type: none"> - 대형차집시설별 수질계측으로 간이처리 기준에 적합하게 저농도 합류식 하수 차단 • 간이공공처리시설 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 처리구역의 중계펌프장에 간이공공하수처리시설로 월류수 처리
분류식지역 하수관로 확충	<ul style="list-style-type: none"> • 오수관로 개보수 및 배수설비 오점정비 • 오수관로 신설 : 합류식 지역 분류식화 및 차집시설 폐쇄 • 차집시설 정비 : 유량제어시설(공압식 밸브, 전동수문 등) 설치
유지관리 시스템구축	<ul style="list-style-type: none"> • 우수(합류식)관로 우수 오점감지 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 소하천 상하류 및 BTL지역 경계부 수질계 설치

00처리구역의 사례에서는 기존시가지에 분류식화를 수행하게 되는 경우 배수설비 연결이 매우 중요한 점이라는 것을 알 수 있다. 배수설비 연결율에 따라서 분류식과 합류식의 비율이 결정되며 낮은 배수설비 연결율로 합류식 비율이 높을수록 강우시 유입하수량이 많아진다. 이는 관로, 중계펌프장의 이송시스템, 공공하수처리시설의 1차 처리시설, 간이공공하수처리시설과 같은 비점오염원처리시설 용량도 과대해지는 결과를 초래한다.

2.3. 합류식지역의 분류식화 방안

2.3.1. 개요

기존 합류식 지역을 분류식 지역으로 전환시 필요한 시설은 오수관로, 오수받이 및 연결관, 자연유하가 곤란할 경우에 중계펌프장 시설 등이 있으며, 이들 시설 설치에 막대한 예산이 소요된다.

따라서 합류식 관로정비의 일환으로 사업을 시행할 때 분류식화가 단기간 내에 실현 가능하고 그 기대효과가 매우 클 것으로 예상되는 표본지역을 선정하여 분류식 전환사업을 실시토록 하며, 실제 시행 후 소요장비, 불명수 감소효과, 분뇨투입 효과, 시공성 등을 종합 분석하여 확대실시 여부를 결정한다.

2.3.2. 분류식 적용조건

기존 시가지의 합류식 관로에 대하여 다음과 같은 기준을 고려하여 분류식으로 전환할 수 있는지를 판단한다.

- 대단위 아파트 지역으로 기존 오수정화시설이 설치되어 우·오수 분리가 용이한 지역
- 관로 노후화 및 기타 원인에 의해 지하수가 다량 투입되는 지역
- 대단위 분류식지역 배후에 위치한 소규모 합류식 지역
- 계획하수량 증가로 인한 차집관로 증설이 필요하나 지역여건상 증설이 곤란한 지역
- 완구배 지역으로 합류식 관로 정비후도 청천시 적정유속확보가 곤란한 지역

2.3.3. 기존 및 신규시가지에 대한 배제방법 비교

기존 합류식 지역을 분류식 지역으로 전환할 때 오수관로시설, 오수받이 및 연결관, 중계펌프장 등의 시설이 필요하며 설치부지, 지장물 등의 현장여건 검토 후 배제방법을 결정한다.

기존시가지 합류식 지역의 분류식 개조에 있어서는 시공성, 시공시 교통장애로 인한 시민의 생활불편, 통신케이블 상수도관 등 각종 지하매설물과의 교차로 인한 자연유하의 어려움으로 전면적인 분류식화 개조에 어려움이 수반된다. 따라서 기존시가지와 장래 개발사업지의 하수배제방법 선정에 주요 고려사항은 아래 표와 같다.

표 2.5 기존시가지 및 장래개발지 하수배제방법 검토

구 분		고려사항
기존 시가지	지역여건	<ul style="list-style-type: none"> • 구시가지 우수를 배제목적으로 한 하수관로에 오수를 배제하는 합류식 지역 • 도로 폭은 여러 형태의 차선을 유지하고 있으나 교통량이 많고, 지장물이 많이 매설되어있으며, 대부분이 협소한 지역 • 구시가지로 배수설비가 없음
	경 제 성	<ul style="list-style-type: none"> • 기존시가지를 분류식 사업은 합류식 보다 공사비용이 많이 소요되며 협소한 도로사정으로 사유지 편입, 지장물 보수 등이 불가피
	공사여건	<ul style="list-style-type: none"> • 도로폭이 협소하여 분류식전환에 어려움 • 상가 및 주거 밀집지역으로 교통량이 많아 야간공사 필요 • 지하매설물이 많아 시공상 어려움, 여러형태의 민원발생
	유지 관리성	<ul style="list-style-type: none"> • 우수토실, 분뇨 집투입 등의 측면에서 볼때 분류식이 합류식에 비해 상대적으로 유리하나 분류식을 위한 우수관 매설의 어려움
	배제방법	<ul style="list-style-type: none"> • 기존시가지의 노후화된 관로를 정비하여 합류식으로 존치
장래개발 사업지	지역여건	<ul style="list-style-type: none"> • 지역 대부분이 합류식지역이거나 관로 매설이 없는 미개발 지역 • 기존 시가지의 외곽에 유치
	경 제 성	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 합류식 지역은 기존관을 우수관으로 활용 • 신 개발지는 분류식 배제방법으로 전환 • 합류식대비 공사비 증가
	공사여건	<ul style="list-style-type: none"> • 시가화 지역보다 지장물이 적고 교통량이 적음
	유지 관리성	<ul style="list-style-type: none"> • 약취, 토사퇴적, 하수처리시설 유입 유량감소, 수질증가 등 유지관리에 유리
	배제방법	<ul style="list-style-type: none"> • 우·오수 분리하여 하천관리에 유리 • 배수설비 분뇨 직투입을 의무화 • 환경, 수질보전 측면에서는 합류식 존치에 비해 분류식이 우수하여 분류식 적용

제 3장 연구대상지의 특성

3.1. 베트남

동남아시아 남중국해 연안에 위치하고 있는 베트남은 면적 331천km²(한반도의 1.5배)이며, 인구가 98.3백만명으로 해당국의 일반현황은 아래표와 같다.

표 3.1 베트남 일반현황 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
기 후	아열대성(북부), 열대성(남부)
민 족	베트남인 또는 킨족(86%) 등 54개 민족
언 어	베트남어(공용어), 영어, 프랑스어, 중국어, 크메르어
종 교	불교(8%), 카톨릭(7%), 무교비율이 높음
정치체제	사회주의 공화제

세계GDP 순위는 206개 국가 중 42위이며 1인당 GNI는 2021년 기준 3,590달러로 OECD DAC의 중저소득국으로 구분되어 있다. 식수접근률은 95%, 평균수명 75세이며 서비스업과 제조업의 비율이 85%로 조사되었다.

표 3.2 베트남 경제지표 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
산업구조	서비스업 45%, 제조업 40%, 농업 15%
주요수출품	의류, 신발, 전자제품, 수산물, 원유, 쌀, 커피, 목재품 등
주요수입품	기계류, 석유제품, 철강제품, 의류 및 신발원자재, 전자제품 등
부존자원	석유 및 가스, 임산자원, 수력자원 안티몬, 인산염, 석탄, 망간 등

우리나라와는 1992년 12월 22일 수교를 시작하였다. EDCF 차관 협정은 1995년, 무상원조협정은 2009년에 체결하였다. 2023년 현재 삼성, 현대 등의 수많은 제조업 기반의 우리나라 대기업들이 베트남에 진출해 있으며, 베트남과의 무역현황은 아래표와 같다.

표 3.3 베트남-대한민국 간 무역현황 (한국수출입은행, 2021)

구분	2018년	2019년	2020년	주요품목
수출 (천 달러)	48,622,098	48,177,749	48,510,572	반도체, 평판디스플레이 및 센서, 무선통신기기
수입 (천 달러)	19,643,385	21,071,557	20,578,589	무선통신기기, 의류, 컴퓨터

3.1.1. Viet Tri

베트남 Viet Tri는 수도인 하노이에서 북서쪽으로 약 70km 떨어져 있는 곳으로 Phu Tho 성의 성도이며, 약 26만명의 인구가 거주하고 있는 지역이다. 하수관련 시설은 전무한 상태이며 가옥 내 단독 정화조 처리로 하수를 처리하였으나, 시가화지역 확대로 하수발생량 증가 및 방류수역 오염으로 대한민국 EDCF차관을 신청하여 2009년부터 하수도사업을 시행하였다. 하수도시설공사 및 시운전은 2021년 12월 성공적으로 완료하였다.

3.1.2. Ninh Binh

베트남 Nihn Binh은 베트남 북동부의 Day 강 주변에 위치하고 있으며, 수도인 하노이로부터 1번 고속도로를 따라 93km 떨어져 있다. Day강 하류부에 위치하고 있는 삼각주 지역으로 Ninh Binh 성의 성도이다.

Ninh Binh시의 총 면적은 48.36km², 인구는 12만명(2017년)으로 Tam Coc(땀곡), Trang An(짱안), Cou Phuong(꼭프엉), Van Long(벤롱)습지 등의 다양한 자연보호구역과 관광지가 다양하게 분포되어 있다.

관광업의 발달로 인해 위생환경개선이 필요한 상황으로 2012년 차관을 통한 하수도 사업이 시작되었다.



3.1.3. Hung Yen

베트남 Hung Yen은 북쪽으로는 Hanoi와, 남쪽으로는 Ha Nam과 인접하고 있다. Hung Yen의 면적은 46.8km², 인구는 12만명(2008년)으로 홍강(Red River) 삼각주 지역에 위치하고 있다. 이곳도 Ninh Binh과 마찬가지로 위생환경개선이 필요한 상황으로 2013년 하수처리시스템의 사업이 시작되었다. 2013년 이전의 하수도시스템은 구축되지 않았으며, 타당성조사는 유럽 컨설턴트(Poyry)에 의해 수행되었다.



그림 3.1 Hung Yen 위치도 (Hung Yen PPC, 2008)

3.2. 방글라데시

인도와 미얀마 사이에 위치하고 있는 방글라데시는 면적 148천km²(한반도의 2/3배)이며, 인구가 1.7억명으로 해당국의 일반현황은 아래표와 같다.

표 3.4 방글라데시 일반현황 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
기 후	열대 몬순
민 족	벵골인(98%)
언 어	벵골어(공용어)
종 교	이슬람교(89%), 힌두교(10%)
정치체제	의원내각제

세계GDP순위는 206개 국가중 38위이며 1인당 GNI는 2021년 기준 2,750달러로 OECD DAC의 중저소득국으로 구분되어 있다. 식수접근률은 97%, 평균수명 73세이며 서비스업과 제조업의 비율이 87%로 높은편이다.

표 3.5 방글라데시 경제지표 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
산업구조	서비스업 56%, 제조업 31%, 농업 13%
주요수출품	의류, 농산물, 냉동식품(해산물), 황마, 가죽
주요수입품	면, 기계류, 화학제품, 철강, 식료품
부존자원	천연가스, 임산자원, 석탄

우리나라와는 1973년 12월 18일 수교를 시작하였다. EDCF 차관 협정은 1973년, 무상원조협정은 2014년에 체결하였다. 2023년 현재 대한민국의 제조업 기반 기업들이 방글라데시에 진출해 있으며, 방글라데시와의 무역현황은 아래표와 같다.

표 3.6 방글라데시 우리나라와의 무역현황 (한국수출입은행, 2021)

구 분	2018년	2019년	2020년	주요품목
수출 (천 달러)	1,238,299	1,282,342	1,033,331	철강판, 합성수지, 농약 및 의약품
수입 (천 달러)	346,507	404,703	392,918	의류, 운동 레저용품, 신변잡화

3.2.1. Chittagong

Karnaphuli 강변에 위치한 Chittagong은 방글라데시 도시 중 제2의 도시이자 제1의 공업 항구도시이다. 방글라데시의 경제성장의 중심에 위치한 도시로 화학·면방직·전기 기구 등의 공업이 주요 산업이다. 2011년 기준인구 약 260만명으로 꾸준한 인구증가율로 2030년 약 370만명의 인구가 될 것으로 방글라데시 국가 하수도정비 기본계획상 예측하고 있다. 방글라데시의 경제성장율은 6.8%로 최빈개발도상국에서 저소득국으로의 과도기적 단계에 있다.

표 3.7 Chittagong 인구추계 (World Bank, 2017)

구 분	Population from Census	Projected Growth Rate(%)		Projected Population			
	2011	2011-2020	2020-2030	2015	2020	2025	2030
Chittagong	2,592,439	3.9	3.4	2,808,681	3,111,125	3,403,938	3,730,950



그림 3.2 Chittagong 위치도

3.2.2. Dhaka

Dhaka는 방글라데시의 최대의 도시이며 수도이다. 인구는 1,613만명(2016년)으로 15세기 이전 힌두교에서 이슬람 도시로 변모하였다. Dhaka의 면적은 360km²이나 인구가

800만명 규모가 거주하고 있으며, Dhaka 지구로 보면 면적 1,400km²에 1,900만명이 거주할 정도로 인구밀도가 매우높다.

3.3. 캄보디아

동남아시아 태국과 베트남 사이에 위치하고 있는 캄보디아는 면적 181천km²(한반도의 4/5배)이며, 인구가 15.8백만명으로 해당국의 일반현황은 아래표와 같다.

표 3.8 캄보디아 일반현황 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
기 후	열대 몬순
민 족	크메르족(98%)
언 어	크메르어(공용어)
종 교	불교(98%), 이슬람교(1%)
정치체제	입헌군주제(의원내각제)

세계GDP순위는 206개 국가중 103위이며 1인당 GNI는 2021년 기준 1,580달러로 OECD DAC의 중저소득국으로 구분되어 있다. 식수접근률은 79%, 평균수명 70세이며 서비스업과 제조업의 비율이 77%로 높은편이다.

표 3.9 캄보디아 경제지표 (한국수출입은행, 2021)

구 분	내 용
산업구조	서비스업 42%, 제조업 35%, 농업 23%
주요수출품	의류, 목재, 고무, 쌀, 어류, 담배, 신발
주요수입품	석유제품, 담배, 금, 건설자재, 기계, 자동차, 의약품
부존자원	석유, 가스, 임산자원, 원석, 철광석, 망간, 인산염

우리나라와는 1970년 5월 수교를 하였으나, 1975년 단교하여 1997년 10월 재수교 하였다. EDCF 차관 협정은 2001년, 무상원조협정은 2009년에 체결하였다. 우리나라와 캄보디아와의 무역현황은 아래표와 같다.

표 3.10 캄보디아-우리나라와의 무역현황 (한국수출입은행, 2021)

구분	2018년	2019년	2020년	주요품목
수출 (천 달러)	660,426	696,530	567,210	자동차, 기호식품, 편직물, 알루미늄
수입 (천 달러)	314,477	335,922	318,112	의류, 신변잡화, 산업용 전기기기, 임산부산물

3.3.1. Siem Reap

인도차이나 반도의 남서쪽에 위치한 캄보디아의 면적은 181,035km²로 태국과 라오스, 베트남과 국경 맞닿고 있다. 인구는 약 1,700만명으로 2020년 국내총산(GDP)규모는 약 253억 달러이며 1인당 국민총소득(GNI)는 2000년 300달러를 돌파한 이후 꾸준히 상승하여 2020년 기준 1,560달러 수준이다. 연구지역인 Siem Reap은 세계적인 명소인 앙kor 유적이 위치하고 있으며, 캄보디아 관광산업의 주요 수입원이다. 따라서 캄보디아 정부는 World Bank, ADB, EDCF의 해외 차관을 통해 Siem Reap 환경을 개선하고자 하수도시스템을 지속적으로 구축하고 있다.



그림 3.3 Siem Reap 위치도 (한국수출입은행, 2020)

3.3.2. Phnom Penh

Phnom Penh은 캄보디아의 최대의 도시이며 수도이다. 인구는 약 23만명(2019년)으로 캄보디아에서 가장 인구가 많다. 도시의 면적은 678km²로 14개의 행정구역으로 나누어 있으며 메콩(Mekong), 톤레삼(Tonle Sap), 바삭(Bassac)강이 위치하고 있다.

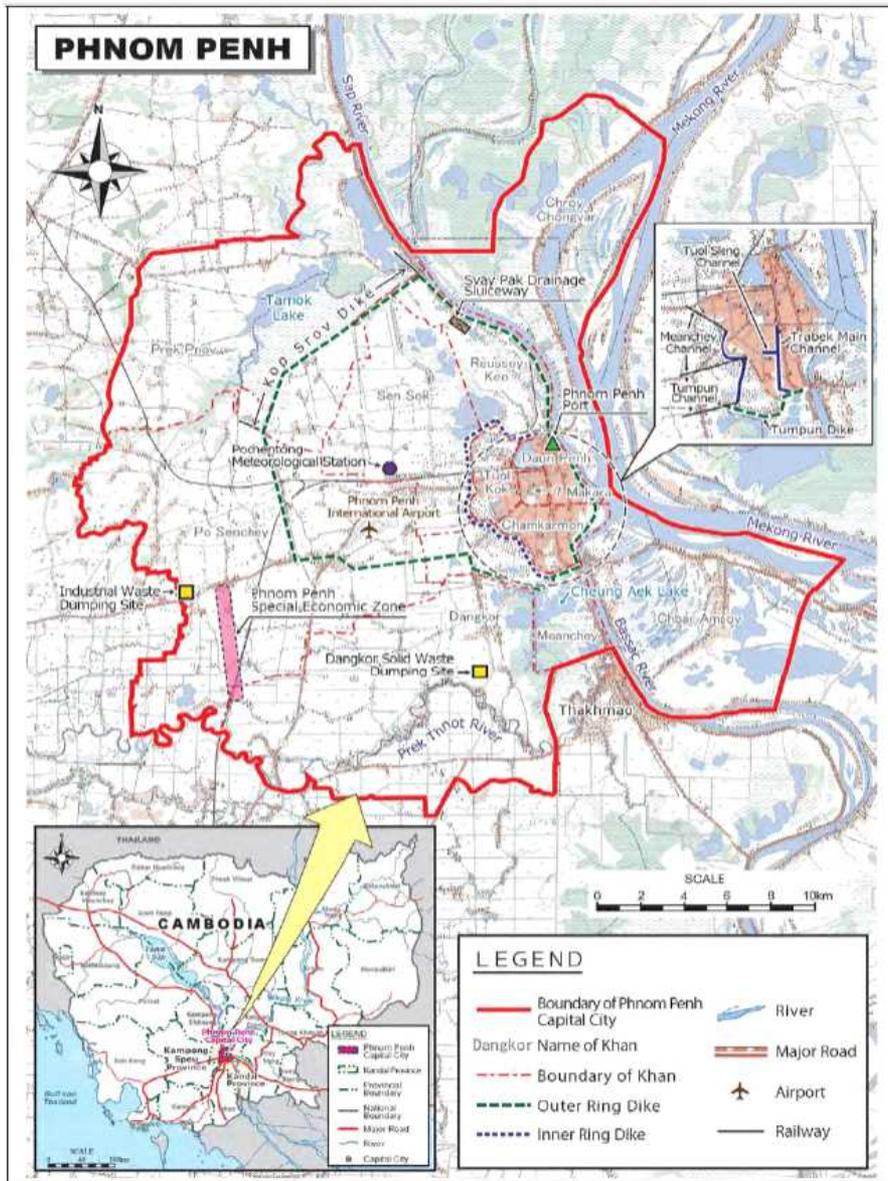


그림 3.4 Phnom Penh 위치도 (JICA, 2016)

제 4장 연구대상지역의 하수도 현황 및 배제방식 검토

4.1. 베트남

4.1.1. 도시현황

Viet Tri의 하수도 시설계획은 동서로 뺀 고속도로와 지형여건을 고려하여 서쪽(시설용량 5,000m³/일)과 동쪽(시설용량 10,000m³/일)의 2개 하수처리구역으로 분리하였으며, 하수배제방법은 분류식으로 최초 계획되었다.

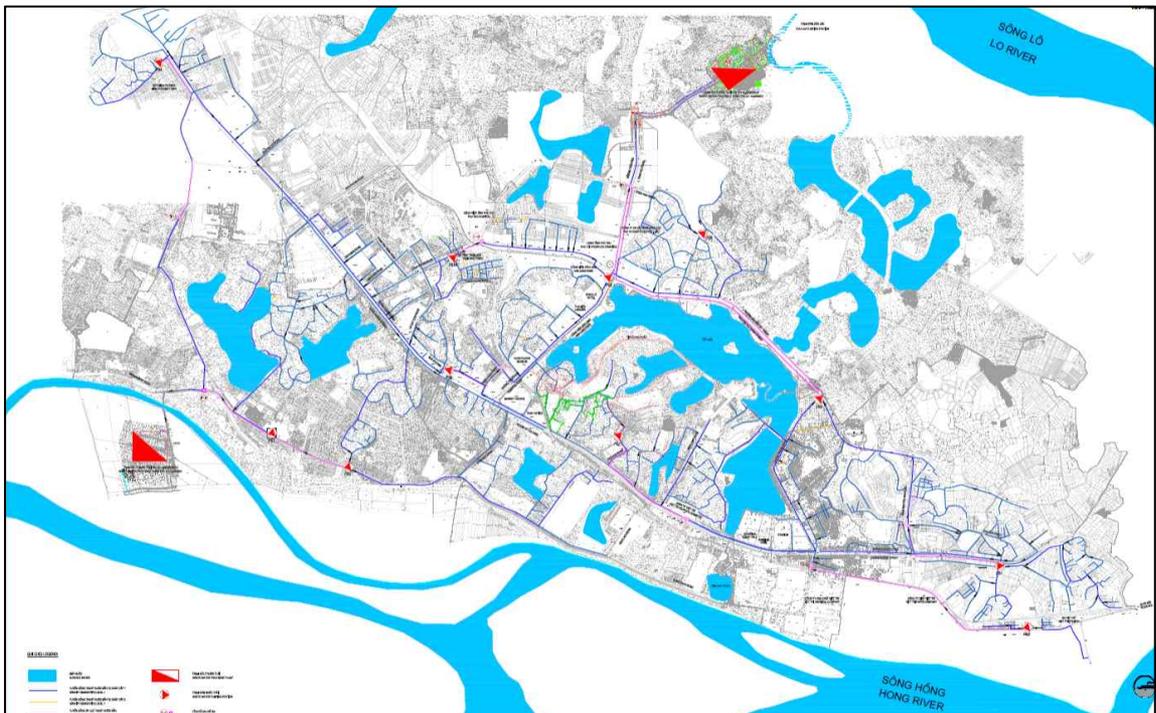


그림 4.1 Viet Tri 하수도 시설계획평면도 (Phu Tho Water Supply J.S.C, 2012)

표 4.1 Viet Tri 하수시스템 시설계획

구 분	TP-1(동측처리구역)	TP-2(서측처리구역)
일반현황	하수처리인구 : 30,895인 처리구역면적 : 931ha 하수수집방법 : 분류식	하수처리인구 : 78,699인 처리구역면적 : 635ha 하수수집방법 : 분류식
하수관로	하수관로 : L=17.8km 하수연결관 : L=22.4km 중계펌프장 : 5개소	하수관로 : L=38.3km 하수연결관 : L=63.2km 중계펌프장 : 14개소
처리시설	시설용량 : 5,000m ³ /일 처리공법 : 산화구법 방류수역 : Hong River	시설용량 : 10,000m ³ /일 처리공법 : 산화구법 방류수역 : Lo River

재원투자는 처리시설, 오수중계펌프장, 분류식하수관로, 하수연결과 및 오수받이의 공공부지는 한국 EDCF차관으로, 용지보상과 배수설비의 사유지 부분은 베트남 정부재원으로 계획되었으며 차관약정에 따른 재원 투입계획은 아래표와 같다.

표 4.2 Viet Tri 하수시스템 재원투자계획 (Phu Tho Water Supply J.S.C, 2012)

구 분	계	EDCF 차관	베트남 정부재원
사업비(USD)	41,254,000	32,906,000	8,348,000
비 율(%)	100	80	20
공사범위		하수처리시설 오수중계펌프장 하수관로, 연결관로, 오수받이	용지보상 배수설비

하수관로의 공사범위 모식도는 아래 그림과 같이 간략하게 표현하였다. 기존하수배제 방법은 가옥지하에 설치된 정화조 상등수가 지형여건에 따라 가옥 뒤편 또는 앞쪽으로 배제된다. 도로는 홍수위 이상으로 가옥 앞쪽에 위치하며 가옥 뒤편은 자연개거 또는 이면도로가 설치되어있다.

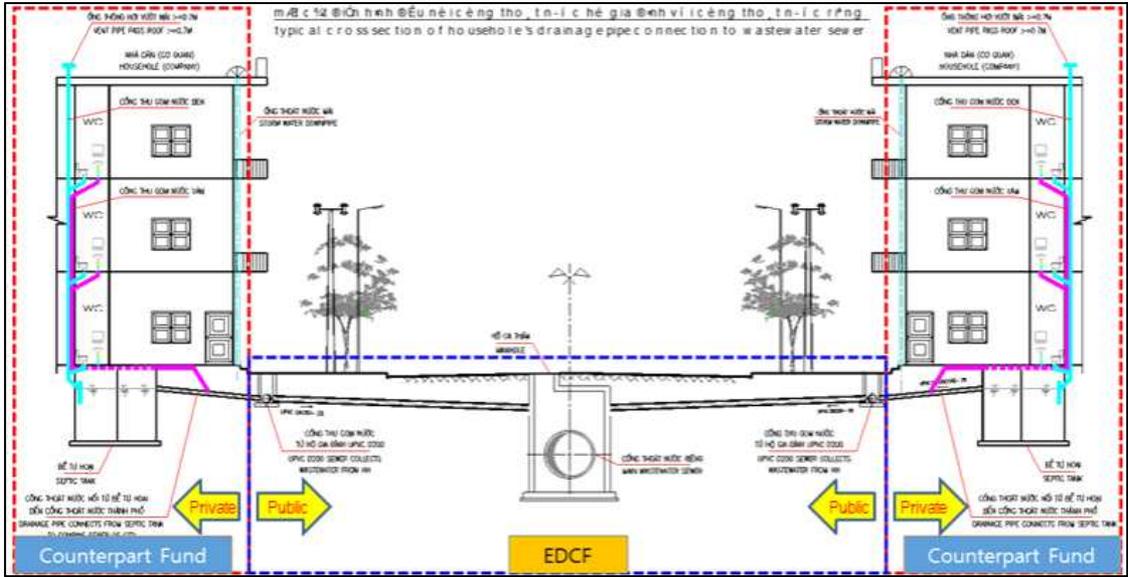


그림 4.2 Viet Tri 하수도사업 분류식 배수설비 단면도 (Phu Tho Water Supply J.S.C, 2012)

베트남 정부재원의 투자부분은 개인 사유지로 구분되는 오수받이부터 가옥 내 배수설비이다. 하지만 베트남의 가옥은 건축 바닥면적이 지적선과 일치하게 건설되어 분류식을 배수설비를 설치하기 매우 어려운 구조이다. 일반적 가옥의 크기는 다양하나 사업지역의 일반적인 가옥규모는 다음과 같다.

- 대로변 : 가로 5.0m × 세로 20.0m, 가로 7.0m × 세로 20.0m
- 이면도로 : 가로 7.0m × 세로 20.0m, 가로 15.0m × 세로 20.0m
- 이면도에서 떨어진 가옥 : 가로 15.0m × 세로 20.0m 이상

처리구역 내 가옥들은 가옥 후면에 화장실이 설치되어 있으며, 가옥 전면부 오수받이의 악취발생 등의 사유로 가옥주가 배수설비 연결을 꺼려하여 분류식 연결관 공사가 매우 어렵다. 또한 분류식 하수관로가 설치된 가옥 전면부의 경우 일반적으로 도로 성토고가 높아 기존 가옥 후면 배제방법에서 전면으로 배수설비를 설치하기 위해서는 관로 매설심도가 깊어지는 문제점도 발생한다.

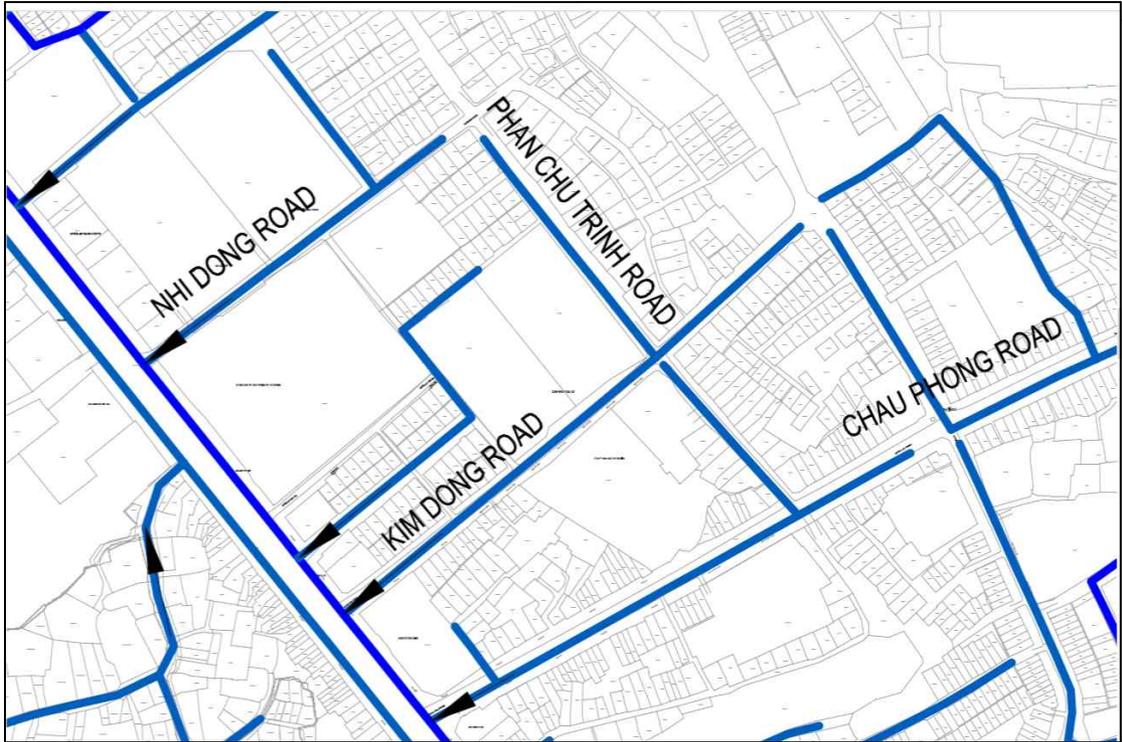
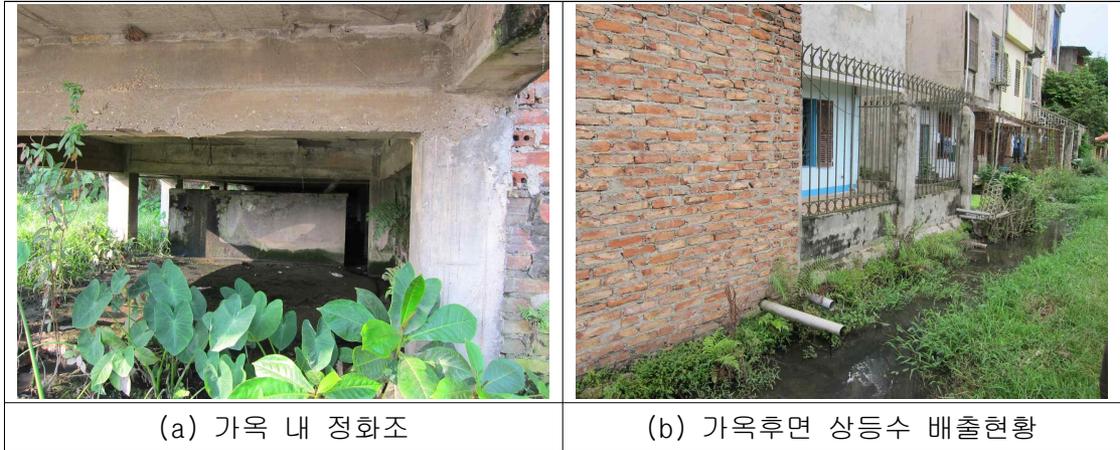


그림 4.3 Viet Tri 오수관로 주변 지적선 현황 (Phu Tho Water Supply J.S.C, 2012)



그림 4.4 Viet Tri 가옥 현장사진

위 그림과 사진에서와 같이 가옥들은 서로 벽이 붙어있는 형태이며 대부분의 하수배제는 지형 경사가 전면으로 되어 있는 경우를 제외하고는 후면으로 하수배제가 이루어진다. 기존 하수배제방법은 아래 그림과 같다.



(a) 가옥 내 정화조

(b) 가옥후면 상등수 배출현황

그림 4.5 Viet Tri 정화조 및 후면하수배제 현황

가옥 내 지하층에 설치되어 있는 정화조의 상등수는 개거를 통해 공공수역으로 방류되고 있다. 한국은 하수도법 따라 정화조는 1년 1회이상 내부청소 실시를 규정하고 있으나, 베트남은 이에 대한 별도 법률규정은 또는 조례로 규정하고 있지 않다. 따라서 정화조 상등수라 하더라도 수질은 매우 악화되어 있으며, 2020년 7월 2일부터 22일간 2회 실시한 주요 간선 개거 수질조사 결과는 다음과 같다.

표 4.3 Viet Tri 간선개거 수질조사 결과 (Phu Tho Water Supply J.S.C, 2012)

구 분		수질조사결과						
		pH	COD	BOD5	NO3-	NH4+	NO2	Coliform
동측(Eest) 처리구역	1차	6.95	128.0	46.0	0.38	19.5	3.5	2,100
	2차	7.12	153.6	55.3	0.16	24.2	-	4,800
서측(Wast) 처리구역	1차	6.95	238.0	130.2	8.80	68.8	4.8	11,000
	2차	7.12	244.6	136.4	1.30	52.9	4.7	12,500

위 표에서와 같이 일반 합류식 개거의 오염도는 높게 나타났으며, 상업지역이 분포되어 있는 서측처리구역의 경우 하수의 오염도가 더 심각한 것으로 나타났다.

Ninh Binh은 2012년 이전 하수도 시설은 구축되지 않았다. 가옥별로 단독정화조를 설치하여 인근 개거에 방류 또는 토양에 침투시켰으나, 정화조 청소에 대한 강제 규제가 없어 공공수역의 오염도는 점차 심해졌다.



그림 4.6 Ninh Binh 하수배제 현황

Ninh Binh은 심각한 공공수역의 수질오염과 악취문제를 해결하고자 2012년 Ninh Binh 하수도시스템 개선을 위해 타당성 조사를 수립하고 World Bank의 차관을 신청하기에 이르렀으며, 주요 하수도 사업 구성내용은 아래표와 같다.

표 4.4 Ninh Binh 하수도시설계획 (Ninh Binh City, 2012)

구 분	내 용						
계획지표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표연도 : 2020년(1단계) 2030년(2단계) ▪ 처리인구 : 81,528인 ▪ 급수보급률 : 99% ▪ 급수원단위 : 140 l pcd ▪ 하수량 						
	계	생활 하수	학교	직업 학교	대학교	병원	기타
	12,776	4,670	403	743	810	455	2,260
하수처리시설	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시설용량 : 15,000m³/일(1단계), 25,000m³/일(2단계) ▪ 처리공법 : Aerated Lagoon 						
하수관로 (1단계)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 압송관 : D150~D500mm, L=17.2km ▪ 자연유하관 : D600~D1,000mm, L=2.3km ▪ 오수중계펌프장 : 12개소 ▪ 배수설비연결관 : D110mm, L=25.5km(가옥당 20m) 						

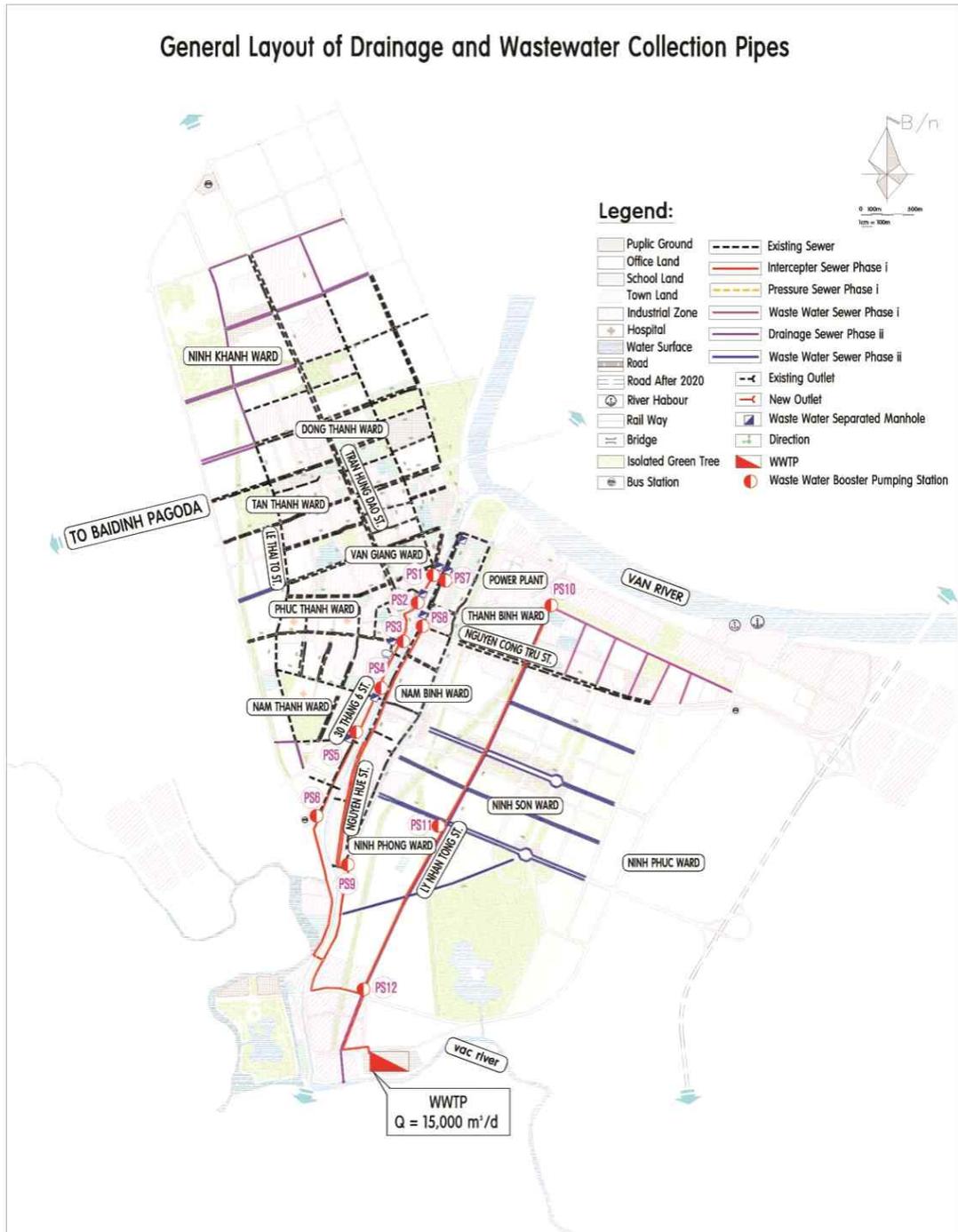


그림 4.7 Ninh Binh 하수처리계획도 (Ninh Binh City, 2012 재편집)

Hung Yen의 하수도 현황은 인접한 Ninh Binh과 유사하다. 하수도 시설은 전무한 상태이며, 가옥별 정화조의 상등수가 토양에 침투 또는 우수관을 통해 인근 호수나 개거 등의 공공수역에 방류 중이다.



그림 4.8 Hung Yen 하수배제 현황

Hung Yen은 심각한 공공수역의 수질오염과 악취문제를 해결하고자 2013년 Hung Yen하수도시스템 개선을 위한 타당성 조사계획을 수립하고 한국수출입은행 EDCF의 차관을 신청하였으며, 주요 하수도 사업 내용은 아래표와 같다.

표 4.5 Hung Yen 하수도시설계획 (Hung Yen PPC, 2008)

구 분	내 용
계획지표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표연도 : 2015년(1단계) ▪ 처리인구 : 35,200인 ▪ 하수량 : 6,283^{m³}/일(건기시 일평균)
하수처리시설	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시설용량 : 6,300^{m³}/일 ▪ 처리공법 : Aerated Lagoon
하수관로 (1단계)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 압송관 : D250~D450mm, L=5.6km ▪ 자연유하관 : D600~D1,800mm, L=2.3km ▪ 오수중계펌프장 : 3개소 ▪ 배수설비연결관 : N.A

Hung Yen의 하수시스템은 기존 우수관 활용, 우수토실 및 중계펌프장 설치의 하수이송 시스템 구축으로 구성되었으며, 시설계획 내용은 다음 그림과 같다.

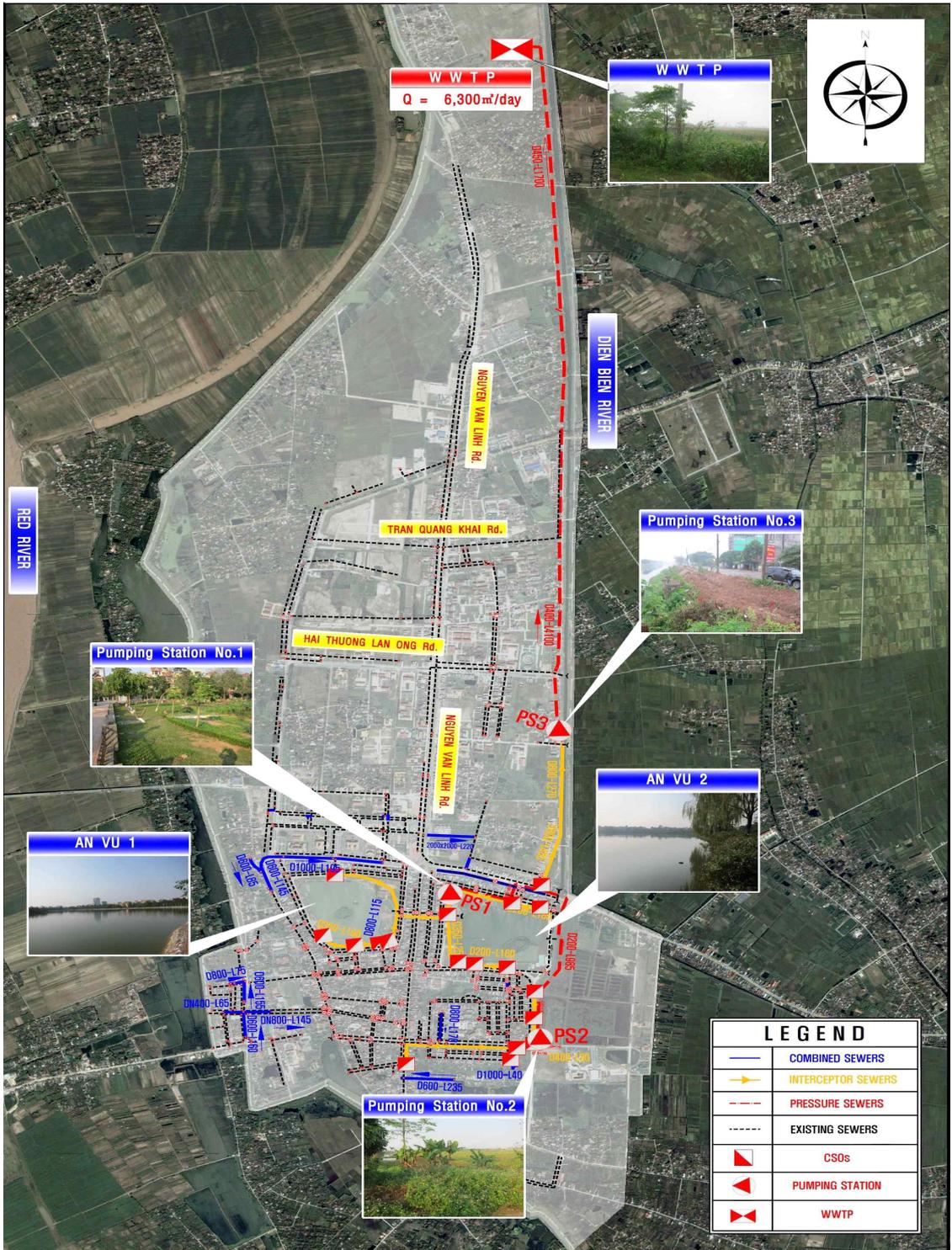


그림 4.9 Hung Yen 하수처리계획도 (Hung Yen PPC, 2008 재편집)

4.1.2. 배제방법 검토

분류식 하수 시스템에서 하수유입은 가옥 내 배수설비에서 시작된다. Viet Tri의 경우 배수설비는 사유지 구간으로 가옥당 200USD 베트남 정부재원을 가옥주에게 지급하여 오수받이에 연결하는 것으로 계획되었다. 하지만 공사 중 가옥주의 반대로 배수설비 연결이 불가하여 하수량 확보의 문제가 발생되었다.

배수설비 반대의 주요 원인으로는 가옥 전면의 오수받이 악취에 따른 심미적 거부감과, 주민의 하수도 인식부족과 하수도 요금징수에 대한 거부감으로 의한 연결을 반대하는 경우이다.

기술적인 문제로는 가옥구조가 서로 벽면을 맞대고 붙어 있으므로, 가옥 배수설비 시공 난이도가 매우 높다. 연결을 위해서는 가옥 후면에 위치한 화장실 주방에서부터 15m 이상 가옥 내 배수설비 공사가 이루어져야 하므로 가옥주의 반대가 심하다. 오수받이가 설치된 전면 도로부의 지반고가 높으며, 가옥후면 배수설비 적정경사도(1% 이상) 유지를 위한 오수받이 매설심도가 증가하는 문제도 발생된다.

따라서 분류식 하수도시스템으로 계획된 Viet Tri는 주요 기존 우수개거에 우수토실을 설치하여 단기적으로 합류식 하수수집 시스템을 운영하고 장기적으로 분류식 하수도시스템을 도입하는 것으로 계획을 변경하였다.

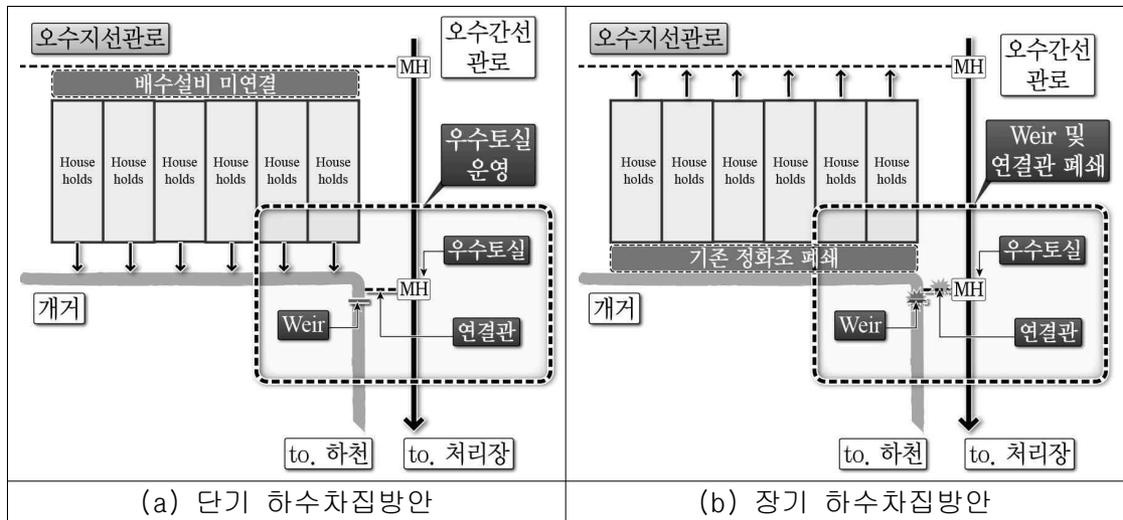


그림 4.10 Viet Tri 하수수집시스템 모식도

위 모식도와 같이 처리시설 운영을 위해 단기적으로 하수량을 확보를 위한 합류식으로 운영하고, 장기적으로 베트남 정부의 베트남 정부재원을 투자하여 분류식을 점진적으로 도입하는 것으로 하수배제 방법이 변경되었다.

Ninh Binh의 하수도 타당성조사는 베트남 지역 컨설턴트 LAVIC에 의해 수집 방법이 검토되었다. 합류식, 분류식 및 합병식이 고려되었으며, 현장여건을 고려하여 분류식이 적용이 가능한 지역을 제외하고는 모두 우수토실을 이용한 합류식이 적용되었다.

1단계 사업은 Ninh Binh을 관통하고 있는 Van강 좌·우안에 우수토실을 설치하여 하수를 차집하고 오수중계펌프장을 이용하여 처리장으로 이송하는 시스템으로 구성되어 있다. 또한 신규 도시개발지인 북측과 동측 처리구역은 배수설비를 설치하고, 기존 우수관을 이용하여 우수토실로 이송하는 것으로 계획되었다. Ninh Binh 하수도시설 타당성조사에서는 가옥 내 배수설비가 분뇨직투입에 대해 규정하고 있지 않으며, 기존 우수관과 우수토실을 이용하여 하수를 차집하는 방법으로 실질적으로 합류식에 가까운 배제방법이다.

Hung Yen은 하수배제방법으로 합류식과 분류식이 검토되었으며, 2015년(1단계)에 계획된 기존시가지에 대한 하수배제방법은 합류식이 채택되었다. 분류식의 경우 악취, 협잡물유입방지, 환경성 및 정화조 청소비용 절감에 장점이 있는 반면 사업비, 운영관리비, 운영난이도, 이주문제, 에너지소비, 배수설비 연결비용, 재무성, 배수설비 연결유도, 단개별 개발계획 등에 불리한 것으로 검토되었다.

표 4.6 Hung Yen 하수배제방법 비교 (Hung Yen PPC, 2008)

Item	Combined System	Combined System with Wastewater Interceptor, PS	Separate System
Potential for Odours	X	X	XXXX
Potential for Blockage by Solid Waste	XX	XX	XXXX
Release of Wastewater to Environment	XX	XXX	XXXX
Capital Cost	XXXX	XXX	X
Operation and Maintenance Costs	XXX	XX	X
Simple Operation	XXXX	XXX	XX
Skilled Operators Required	XXXX	XX	XX
Resettlement Required	XXX	XX	X
Energy Demand	XXXX	XXX	XX
Householder Costs and Fees	XXX	XX	X
Cost and Need for Septic Tanks	X	XX	XXXX
Affordability	XXXX	XXX	X
Financial Sustainability	XXX	XXX	X
Compulsory Connection Required	XXXX	XXXX	X
Step-by-step Development	XXXX	XXXX	X
▪ Notes: XXXX = excellent, XXX = good, XX = fair, X = poor			

4.2. 방글라데시

4.2.1. 도시현황

Chittagong은 2023년 기준 운영중인 하수처리시설이 없다. 2017년에 수립한 하수도정비기본계획에 따라 한국수출입은행 ODA자금인 EDCF를 비롯하여 World Bank, JICA, ADB 등의 원조자금을 통해 하수도시설을 계획 및 건설중에 있다. Chittagong은 급격한 도시화로 인하 심각한 환경문제를 겪고 있으며, 특히 하수처리시설 및 분뇨수거 미비로 인해 도심 내 수질오염이 매우 심각한 상황이다.



그림 4.11 Chittagong 하천오염현황

하수도시설 구축되지 않은 만큼 각 가옥에서 발생하는 하수는 도로변의 개거 또는 지천으로 방류되거나 토양으로 침투되고 있다. 심각한 하천오염과 악취로 심각한 환경문제를 야기하고 있을 뿐만 아니라 분뇨수거 시스템 미비로 지하수 오염과 장티푸스, 이질, 콜레라 등의 수인성 질병에 주민들이 상시 노출되어 있다. 도로변 가옥의 구조는 베트남과 같이 벽을 맞대고 붙어 있는 구조로 가옥내 배수설비를 설치하기에 어려운 구조이다. Chittagong의 하수도 시설 현황 및 주요 문제점은 아래 그림과 같이 요약하였다.



그림 4.12 Chittagong 하수배제 및 분뇨수거 현황



그림 4.13 Chittagong 인접가옥 및 측구배제 현황

Chittagong은 심각한 환경문제를 해결하고자 2017년 하수도정비기본계획을 수립하였다. 목표연도를 2030년으로 설정하고 계획인구 370만명에 대해 6개 처리구역으로 분할하였다. 처리구역은 지형여건, 하수이송의 용이성 및 공공하수처리시설의 부지확보 용이성 등이 고려하여 설정되었으며, 그 현황은 아래표와 같다.

표 4.7 Chittagong 공공하수처리시설계획 (World Bank, 2017)

구 분	처리시설명	계획인구(인)	처리인구(인)	보급률(%)	시설용량(㎥/일)
STP-1	Haliishahar	1,195,212	749,531	62.7	150,000
STP-2	Kalurgat	867,366	316,868	36.5	86,000
STP-3	Fateabad	417,565	293,737	70.3	60,000
STP-4	East Bakalla	577,798	405,483	70.2	80,000
STP-5	North Kattali	363,773	174,274	47.9	52,000
STP-6	Patenga	309,239	249,748	80.8	100,000
계		3,730,952	2,189,642	58.7	528,000

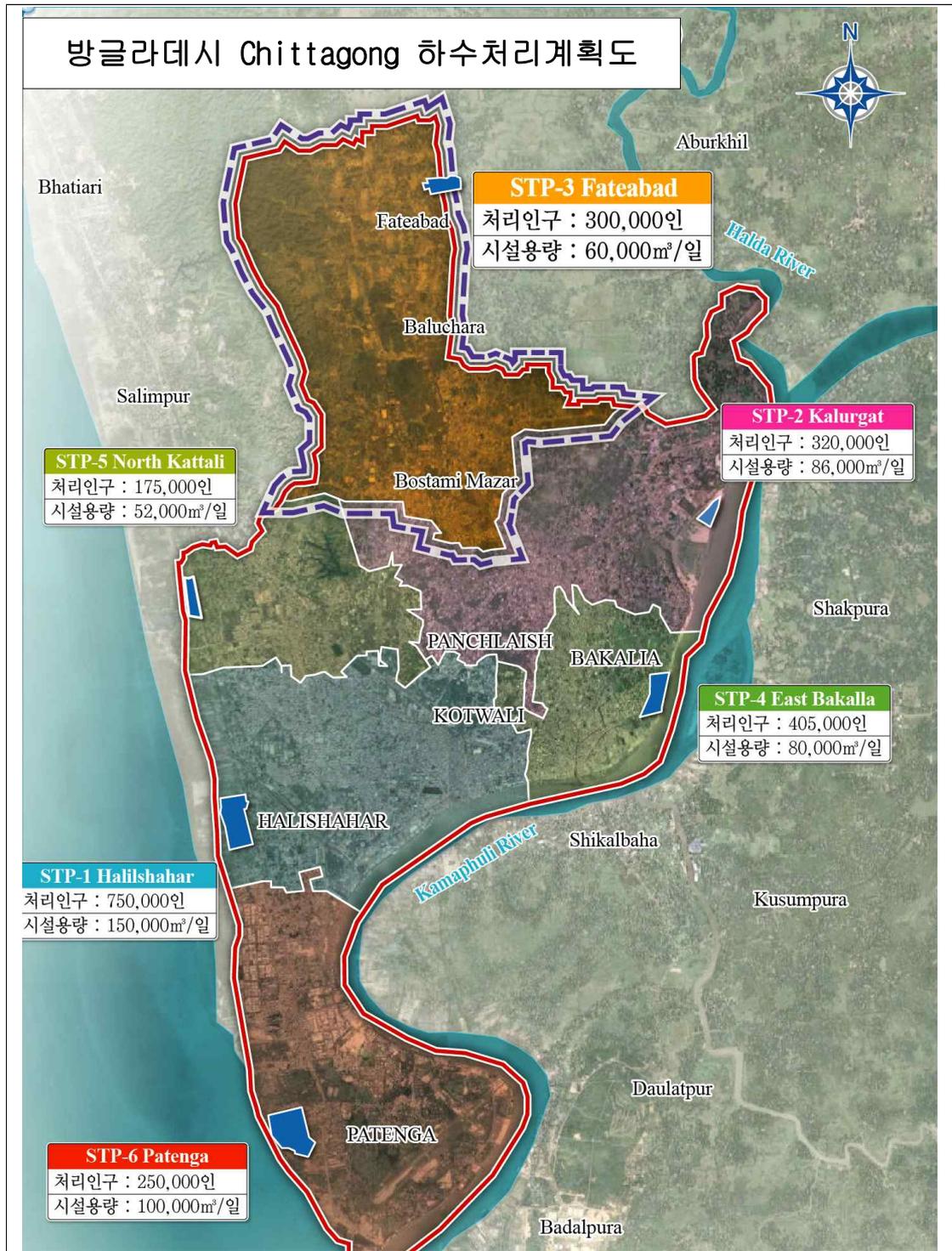


그림 4.14 Chittagong 계획하수처리구역도 (World Bank, 2017 재편집)

Dhaka는 2012년 방글라데시 Dhaka 상하수도국(Dhaka Water Supply and Sewerage Authority, DWASA)에서 심각한 하천오염을 방지하고자 하수도정비기본계획을 수행하였다. 기존 하수도 현황은 Chittagong과 유사하며, 2012년 계획된 11개 하수처리장 중 2023년 기준 Pagla 하수처리장 1개소만 운영중이다. 잔여 처리구역의 하수도처리장은 시공 및 계획 중에 있으며, Dhaka시의 하수도정비기본계획은 유럽 컨설턴트 Grontmij A/S에 의해 수립되었다.

Dhaka 지역의 하수처리구역은 지형여건, 행정구역, 개발계획, 등을 고려하여 11개로 구분하였으며, 목표연도는 2035년으로 설정하였다.

표 4.8 Dhaka 하수처리계획 (DAWASA, 2012)

No.	처리구역	처리인구 (인)	유입유량(㎥/일)		처리공법	소요면적 (ha)
			일평균	일최대		
1	Savor	400,000	46,000	69,000	Trickling Filter	5
2	Tongi / Gazipur	800,000	92,000	138,000		10
		400,000	46,000	69,000		5
3	Rupganj	500,000	57,500	86,250		6
4	Keraniganj	400,000	46,000	69,000		5
5	Uttara	1,600,000	184,000	276,000		20
6	Mipuir	2,800,000	322,000	483,000		34
7	Dasherbandi	2,400,000	276,000	414,000		25
8	Kamrangichar	1,600,000	184,000	276,000		20
9	Pagla	4,200,000	483,000	724,500		51
10	DND-Demra	900,000	103,500	155,250		12
11	Narayanganj	1,400,000	161,000	241,500	17	

하수처리공법은 살수여상 공법으로 제안되었다. 이는 기존 도심지의 용지보상이 어려운 점, 가용부지의 제약으로 인해 제안된 공법이다. 11개 하수처리구역중 Uttara지역은 2023년 현재 한국수출입은행 EDCF 차관으로 사업이 진행중이며, Dhaka시의 하수처리구역도는 아래 그림과 같다.

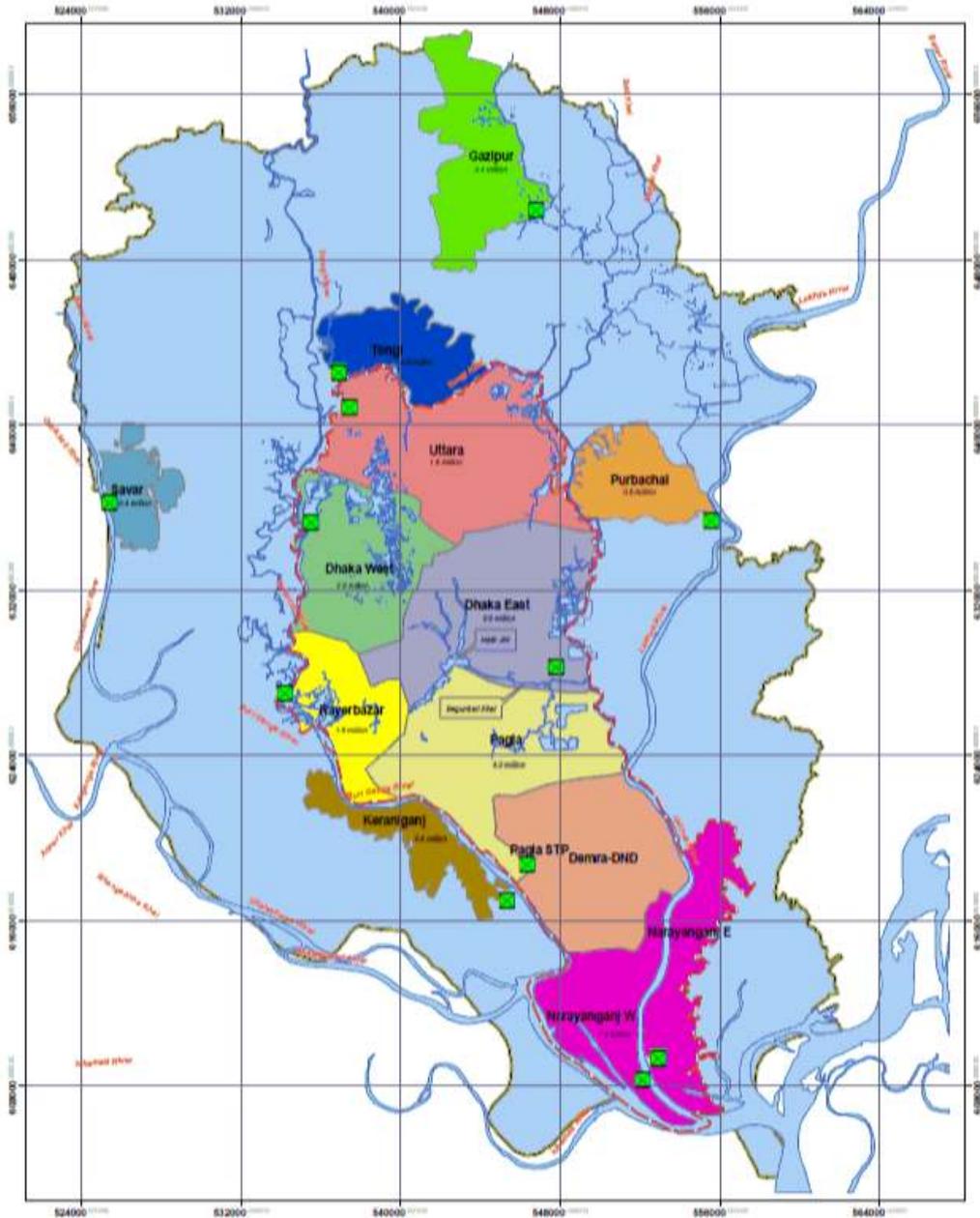


그림 4.15 Dhaka 하수처리구역도 (DAWASA, 2012)

4.2.2. 배제방식 검토

Chittagong 계획 하수수집방법은 2017년 World Bank 차관으로 수행된 방글라데시 하수도정비기본계획(2017.6, Chittagong 상하수도청)에 4가지 방법이 검토되었다. 단기적으로 합류식을 기본으로 계획하였고, 장기적으로 분류식 도입을 고려하는 것으로 요약할 수 있으나, 분류식의 경우 처리구역의 협소한 도로여건과 높은 도심 밀집도로 인해 현실적으로 도입이 어렵다고 판단하고 있다. 단기적인 하수차집방법으로는 우수토실을 통한 차집방법이 있으며, 간선차집과 지선차집의 두가지 방안이 제시되었다.

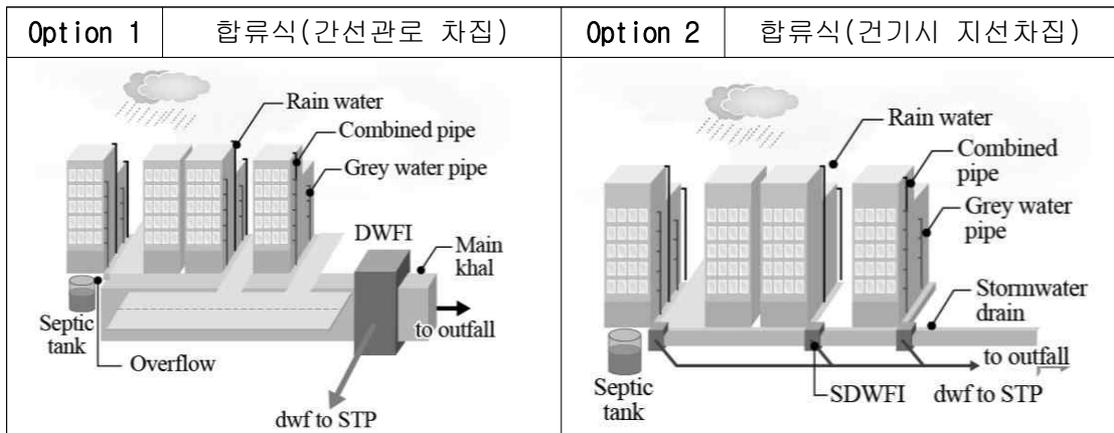


그림 4.16 합류식 하수차집방법 모식도 (World Bank, 2017 재편집)

Option 1은 간선우수관로에 대형차집시설을 설치한 것으로 실질적인 하천차집의 개념이다. 하수관로 매설을 위한 공간이 없는 밀집지역에 적합한 방법이며, 단기적으로 가장 경제적이고, 효과적인 하수 차집방법이다. 하지만 하수발생원으로부터 차집시설까지 하수관로가 없으므로, 장기적으로 별도의 하수관 매설을 고려해야 한다.

Option 2는 소규모 우수토실을 분산화 설치한 것으로 Option 1에 비해 위생적이며 강우시에도 더욱 효과적으로 오염물질을 하수처리시설로 이송 할 수 있는 장점이 있다. 강우시 협잡물 유입으로 인한 우수토실의 유지관리 포인트가 증가하는 단점이 있으나, 기존 구 시가지에는 가장 합리적인 하수차집 방법으로 검토되었다.

분류식 차집방법은 오수전용 관로가 기본적으로 설치된다. 정화조의 폐쇄 유·무에 따라 차집방법이 구분되며, 점오염원을 직접적으로 수거하는 방법으로 강우시 비점오염원에 대한 처리방안은 별도로 계획되어야 한다.

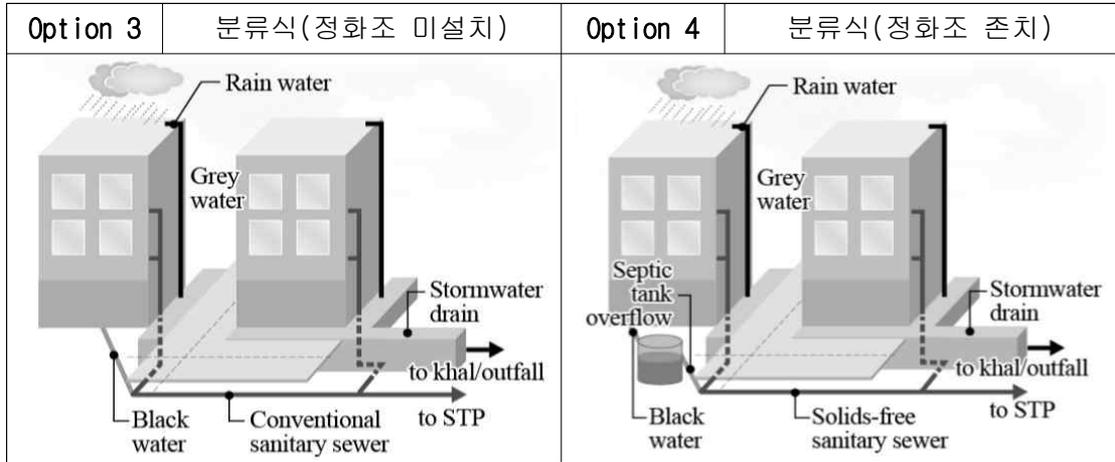


그림 4.17 분류식 하수차집방법 모식도 (World Bank, 2017 재편집)

Option 3은 가옥내 분뇨가 직투입되는 경우로 가장 이상적인 분류식 하수수집방법의 모식도이다. 기존 정화조폐쇄 및 관로매설을 위한 공간 및 지장물 여부가 가장 큰 제약조건으로 작용하며, 분뇨가 하수관을 통해 이송되므로 별도 수집이 필요없다. 하지만 슬럼화된 기존 Chittagong에 위 시스템 적용은 공간적 제약요건으로 적용 불가능한 것으로 검토되었다.

Option 4는 생활잡배수와 정화조 상등수를 분류식 하수관으로 이송하고, 분뇨를 수거식으로 계획하는 경우이다. 방글라데시 가옥은 베트남과 마찬가지로 지하층에 정화조가 설치되어 있으며, 가옥 간 벽체를 맞대고 있는 가옥 구조상 폐쇄가 매우 어렵다. 분뇨가 별도로 수거되므로 관로의 유지관리 부담을 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 분류식 간선관로가 차집관로에 연결될 경우, 강우시 우수토실에서 분류식 월류수 유출방지가 필요하다. 따라서 이 경우 차집관로와 별도의 간선관로를 통한 처리시설 이송을 고려해야 한다.

그 외 하수차집 및 이송방법으로는 대심도 터널이 고려할 수 있으나, 해안가의 높은 지하수위에 위치한 Chittagong 현장 특성과 높은 공사비로 인해 대심도 터널은 적합하지 않을 것으로 판단하고 있다. 각 차집방법에 대한 특징은 아래 표와 같다.

표 4.9 하수차집 및 이송방안 비교 (World Bank, 2017)

구 분	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	대심도터널
공중보건위생	Low	Medium	High	Medium/High	Low/Medium
기술적 타당성	High	High locally	Medium	Medium	Medium
유지관리 난이도	High	Very High	Low/Medium	Medium/High	Very High
환경성	Medium	Medium/High	High	High	Low
차집범위	75%	80%	60%	70%	40%
공사비	Low	Medium/High	High	High	Very High
주민수용성	High	Low	Low	Low	Medium
차집효과	Low	Low	High	Medium	Medium/Low

Chittagong은 간선하천의 배수갑문에 5개의 대규모 차집시설을 운영하여 하수를 차집하고, 하수차집방법은 중·단기적으로 합류식을 운영하는 것으로 계획되었다. Dhaka 하수배제방법은 합류식과 분류식의 장단점이 비교되었으며, 그 내용은 다음표와 같다.

표 4.10 Dhaka 하수배제방법 비교 (DAWASA, 2012)

구분	분류식	합류식
장점	<ul style="list-style-type: none"> 강우시 합류식 월류수 방지 처리시설 규모 축소 우수펌프시설만 설치가능 우·오수 이송에 가장 적합한 이송노선과 심도 유지 오수관의 관경축소로 유속확보에 유리 유량변동에 적음 도로 침사물 유입 방지 우수관의 침수방지 역할만 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 경제적임 매설공간이 분류식에 비해 유리 배수설비 연결이 간단하고 경제적 강우시 합류식관의 플러싱효과 우수의 비점오염원 처리
단점	<ul style="list-style-type: none"> 2개의 전용관 매설로 경제성 저하 배관 매설을 위한 공간 필요 배수설비 오점의 위험 강우시 플러싱효과 없음 우수의 비점오염원 처리 불가 	<ul style="list-style-type: none"> 강우시 월류수로 인한 공공수역 오염 우수토실을 포함한 처리시설 규모 분류식대비 크다 하수 운송(압송)에너지 비용이 크다 노선계획이 어려우며, 우수이송이 청천시 우수이송의 유속확보에 불리 관내 침사물 침전 발생으로 침사물 유입방지 필요 우수토실에 대한 유지관리 필요

처리구역별 기존 우수배제현황, 가옥현황 등을 종합적으로 검토하여 Dhaka의 하수배제 방법은 다음과 같이 계획되었다. (DAWASA, 2012)

- 신규개발지 : 합류식으로 계획될 경우 훨씬 많은 자원과 운영비가 투입될 것으로 예상되므로 분류식으로 계획, 하지만 관매설을 위한 공간이 협소한 경우 합류식으로 계획
- 기존시가지 : 가옥에서 불법적으로 우수관에 하수를 연결하는 방법밖에 없는 현장 상황의 경우 분류식관을 설치하여 하수처리시설로 이송을 계획하고 그 외의 지역은 우수토실 설치를 통한 합류식 차집방법을 채택

위 기준에 따라 Dhaka는 3단계의 하수도 시설계획을 수립하였으며, Pagla 1단계(시설 용량 120,000m³/일) 하수처리장이 운영 중이다. Pagla 하수처리장은 2020년 기준 시설

용량의 25~33% 수준인 30,000~40,000m³/일이 유입되고 있는 것으로 조사되었다.(World bank, 2020) 주요원인은 슬럼화된 구 시가지 지역의 분류식 관로계획과 낮은 배수설비 연결률로 나타났다. 기 계획된 단계별 Dhaka의 하수처리계획은 다음 그림과 같다.

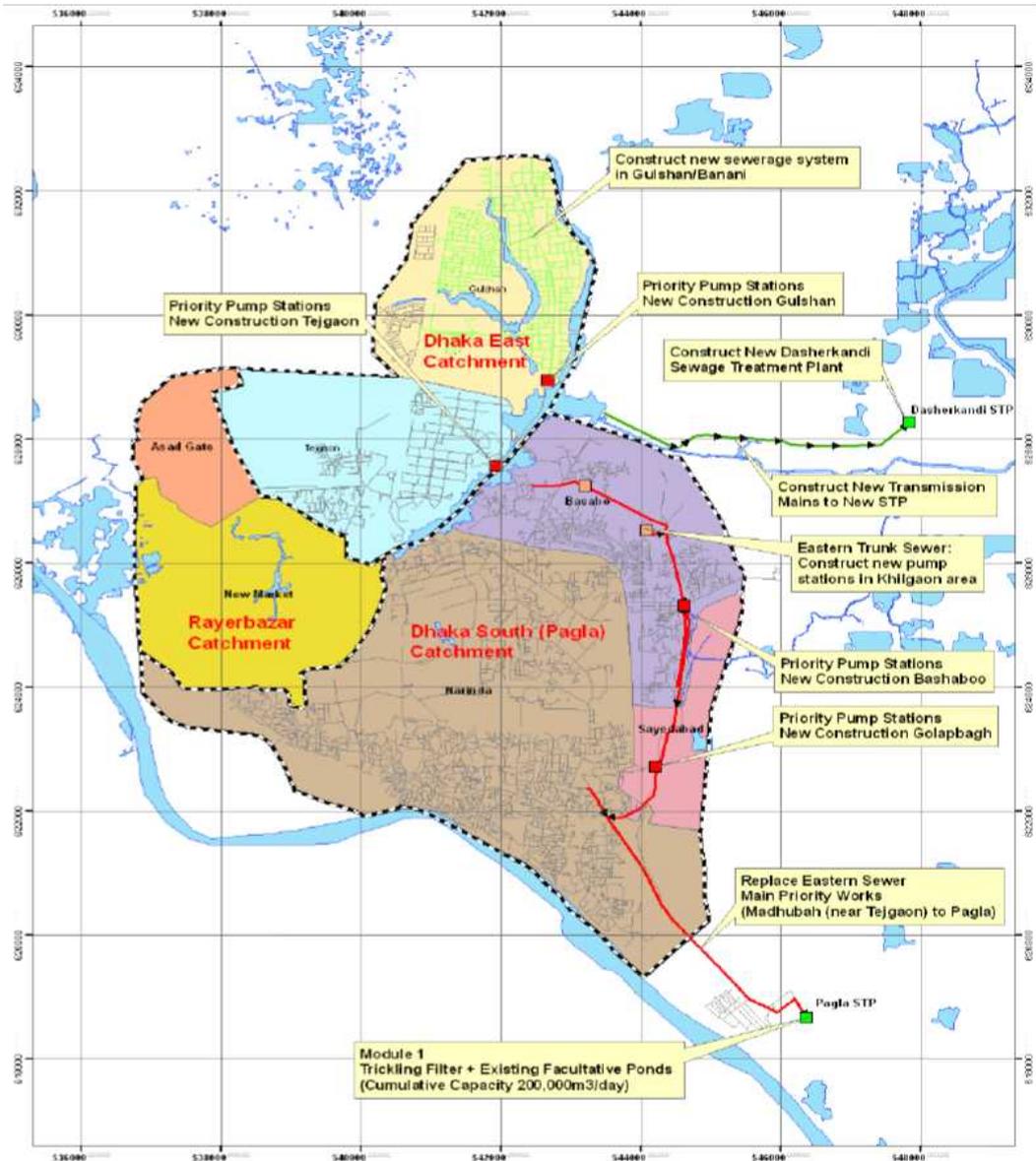


그림 4.18 Dhaka 1단계 하수도계획(2010~2015) (DAWASA, 2012)

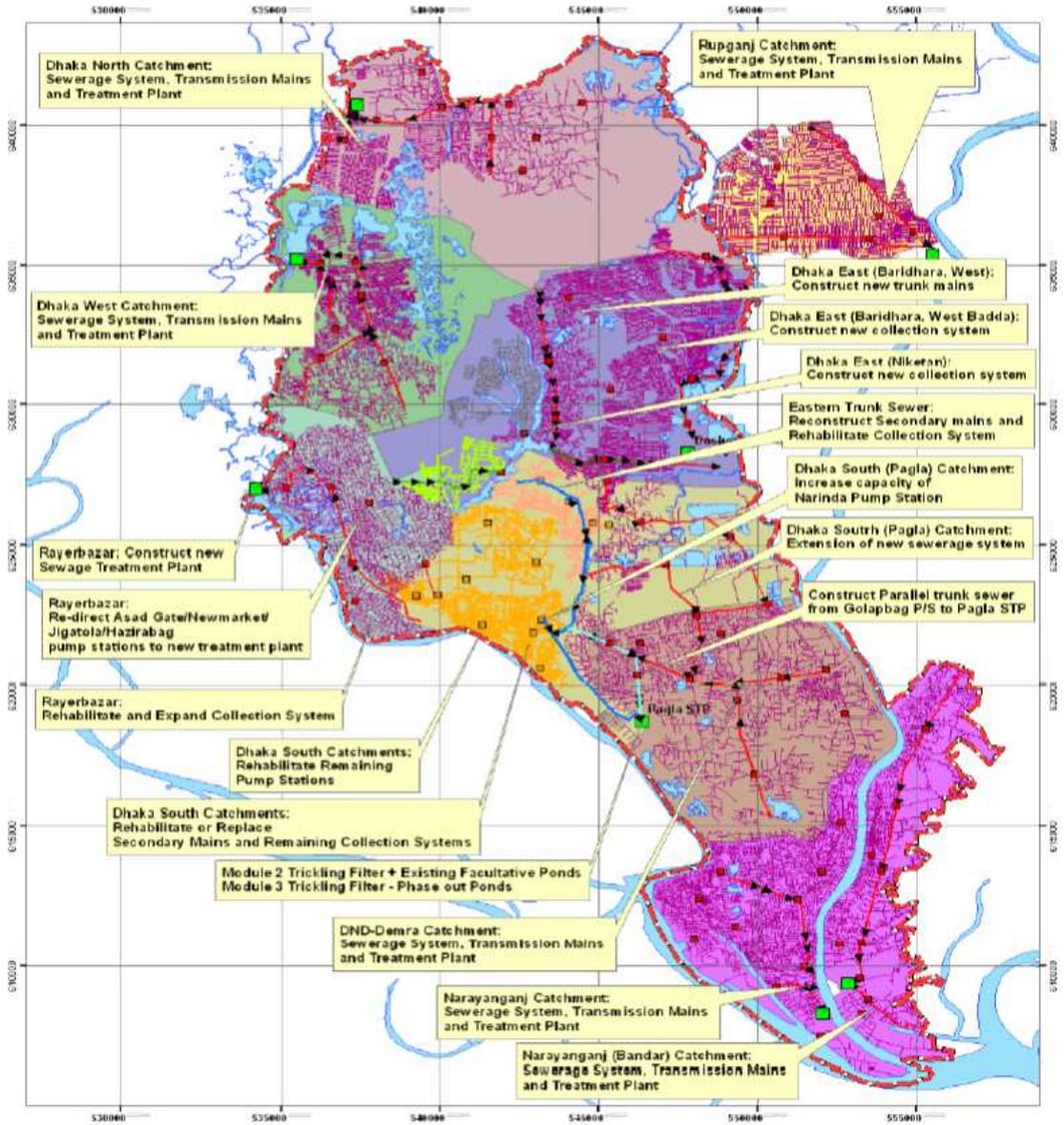


그림 4.19 Dhaka 2단계 하수도계획(2015-2025) (DAWASA, 2012)

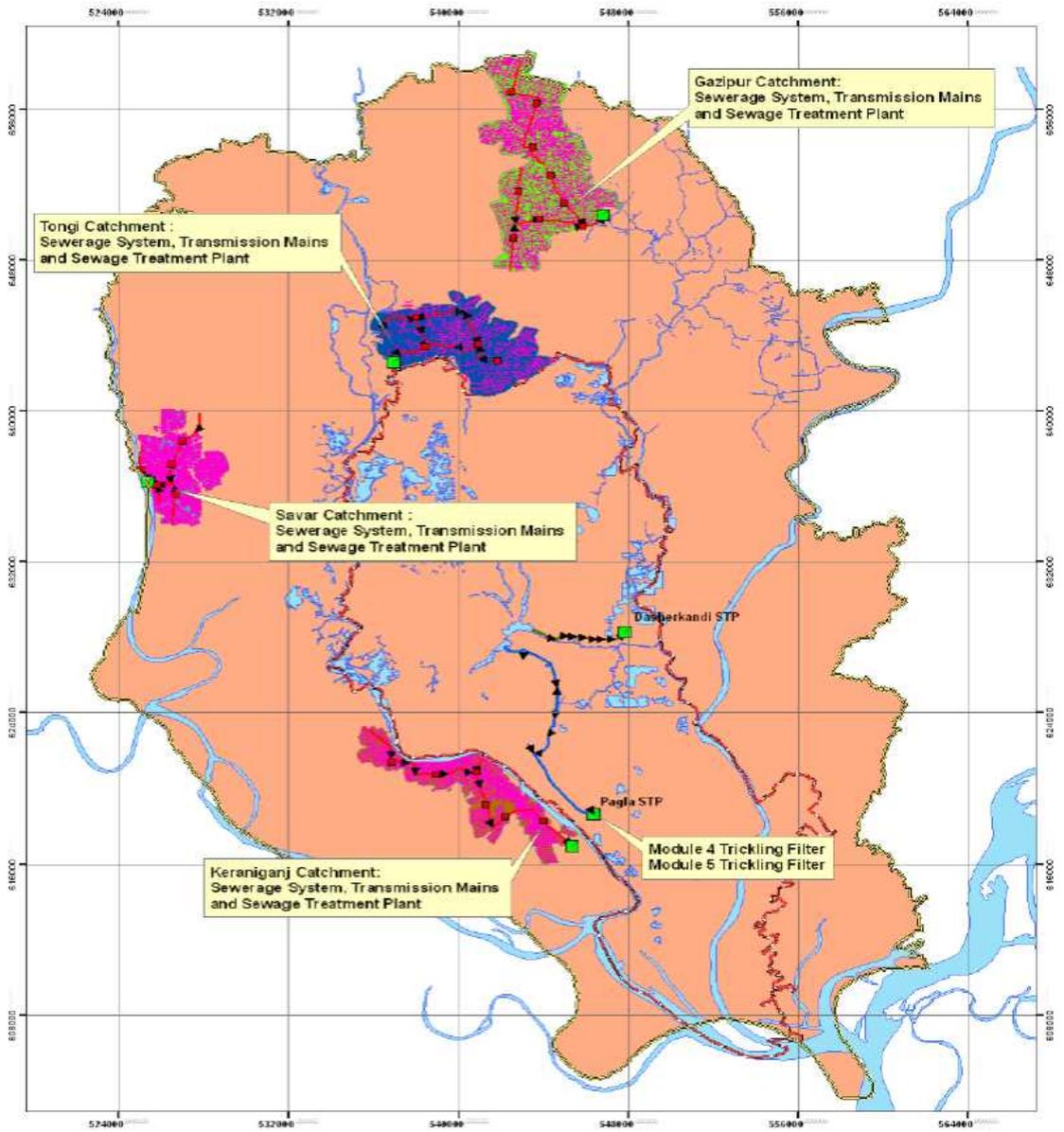


그림 4.20 Dhaka 3단계 하수도계획 (2025-2035) (DAWASA, 2012)

4.3. 캄보디아

4.3.1. 도시현황

Seam Reap Province 계획국(Provincial Department of Planning)에 따르면, 2019년 기준 Siem Reap의 인구는 257,509명이며, 전체인구의 약 61.6%인 158,776명이 처리구역 내에 거주하는 것으로 나타났다. Siem Reap 처리구역의 인구 및 가옥현황은 다음 표와 같다.

표 4.11 Siem Reap 처리구역인구 및 가옥수 (한국수출입은행, 2020)

행정구역	처리인구(인)	가옥(호)	가옥당인구수(인)
Sla Kram	50,686	10,160	5.0
Svay Dankum	48,039	9,931	4.8
Kouk Chak	33,684	7,801	4.3
Sala Kamraeuk	26,367	4,935	5.3
Total	158,776	32,827	4.9

Siem Reap은 7개 처리구역으로 구성되어 있다. 기존처리구역은 최초 캄보디아 재정투자지역 인 IS Center와 World Bank 재원이 투입된 WTS, ETS처리구역, ADB재원이 투입된 IS Combined 4개 처리구역이다. 계획처리구역은 IS North West, IS South, IS Center(South)의 3개 처리구역으로 EDCF 차관 투입이 계획되어 있다.

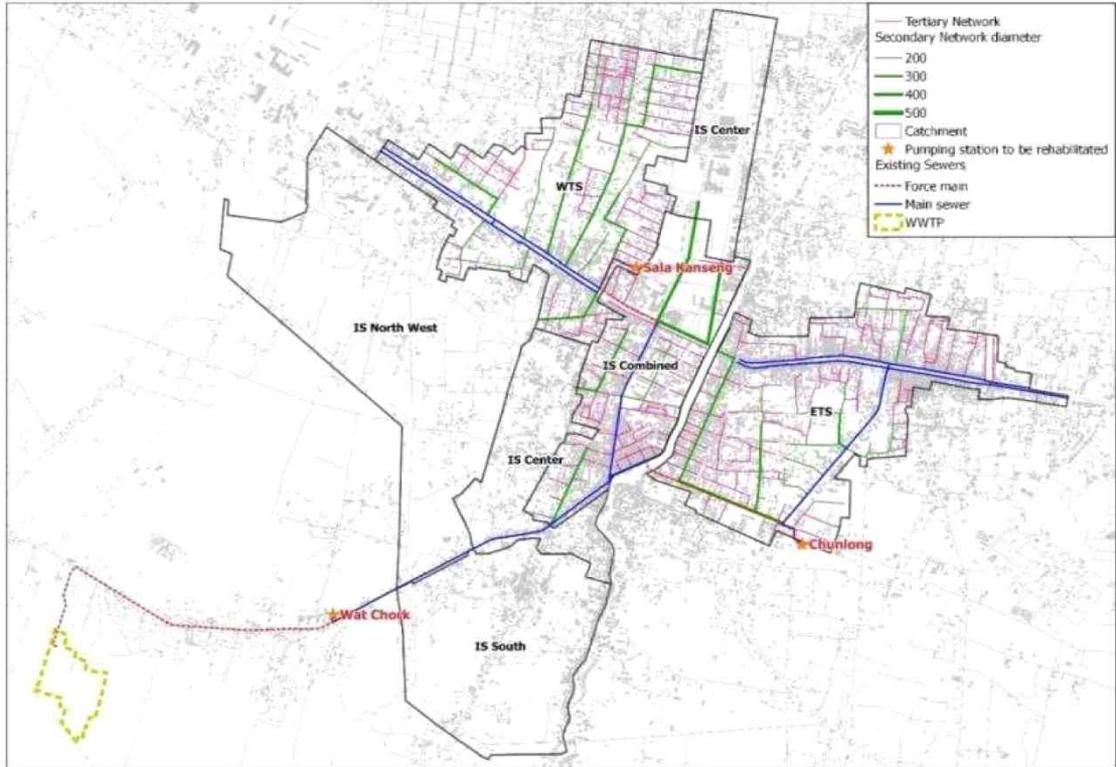


그림 4.21 Siem Reap 하수처리구역도 (한국수출입은행, 2020)

공공하수처리시설은 2009년 ADB차관으로 최초 설치되었으며, 2014년 대한민국 EDCF 차관사업으로 2단계 확장하였다. 처리공법은 라군 공법으로, 혐기조, 선택조, 성숙조로 구성되어 있다. 슬러지처리방법은 건조상으로 시설 현황은 아래와 같다.

표 4.12 Siem Reap 공공하수처리시설 현황 (한국수출입은행, 2020)

구 분	Funding Source	시설용량 (m ³ /일)	비 고
1단계	ADB	2,776	
2단계	EDCF	5,224	
계		8,000	



그림 4.22 Siem Reap 하수처리시설 현황도 (한국수출입은행, 2020)

2011년 ~ 2013년(2014년 2단계 확장사업 전) 처리시설 수질조사(BOD) 결과 최소 130 mg/L ~ 최대 204mg/L로 유입되며 50mg/L 미만으로 방류되었다.

표 4.13 Siem Reap 공공하수처리시설 수질 현황 (한국수출입은행, 2020)

Date	유입 BOD(mg/L)	유출 BOD(mg/L)	처리효율(%)
Apr. 11, 2011	144	47	67.4
May. 11, 2011	130	33	74.6
Jun. 11, 2011	197	32	83.8
Jul. 11, 2011	172	36	79.1
Aug. 11, 2011	146	35	76.1
Nov. 11, 2011	150	47	68.7
Feb. 1, 2012	200	37	81.5
Sep. 11, 2012	155	31	80.0
Jan. 16, 2013	204	34	83.3

캄보디아 역시 방글라데시, 베트남과 유사한 배수설비의 문제점을 가지고 있다. 정화조가 가옥 지하에 묻혀있으며, 후면에 설치되어 있다. 가옥간 간격이 없어 배수연결관을 설치하기 위한 공간이 없으며, 가옥 앞쪽에 위치한 도로의 지반고가 높아 배수설비 연결율이 매우 낮다.



그림 4.23 Siem Reap 가옥 현황사진

기존 4개 하수처리구역에는 총 3개의 오수중계펌프장이 있다. 2009년 최소 합류식으로 계획된 IS Combined 처리구역에서 우수토실을 통해 하수가 유입되는 Wat Chork 중계펌프장이 정상 운영중이다. 2014년 분류식으로 계획된 EDCF차관이 투입된 처리구역은 배수설비 연결을 낮아 Sala Kenseng 중계펌프장은 가동 중지중이며, Chunlong 중계펌프장은 간헐 운전중에 있다.

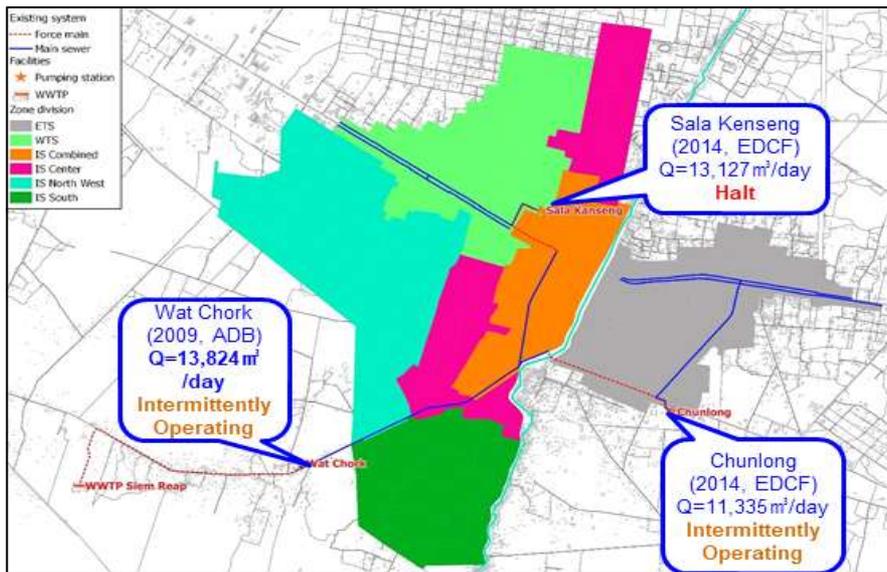


그림 4.24 Siem Reap 오수중계펌프장 운영현황도 (한국수출입은행, 2020 재편집)

캄보디아 정부는 기존 4개 처리구역에서 3개 처리구역 확장을 한국 EDCF차관으로 계획하고 있다. 2020년 타당성 조사를 수행하였으며, 하수관로의 확충과 처리시설의 12,500^m³/일 증설이 계획되었다. 특히 2014년 2단계 EDCF사업 시 분류식 하수도 시스템이 도입하여 배수설비 연결율이 낮은 문제점을 해결하고자 7,244가구의 배수설비 연결을 계획하고 있다.(한국수출입은행, 2020)

표 4.14 Siem Reap 하수도시스템 확장계획 (한국수출입은행, 2020)

구분	계획내용
계획하수량	• 일평균 25,000 ^m ³ /일
처리시설	• 증설용량 : 12,500 ^m ³ /일(기존 12,500 ^m ³ /일) • 처리공법 : Waste Stabilization Pond
오수관로	• D200~D600mm, L=44.8km
배수설비	• D150mm, L=149.98km • 오수받이 : 7,244개
우수관로	• Box : B2.0m×H2.0m×1련 ~ B4.5m×H2.5m×2련, L=10.47km • 개거 : L=6.68km

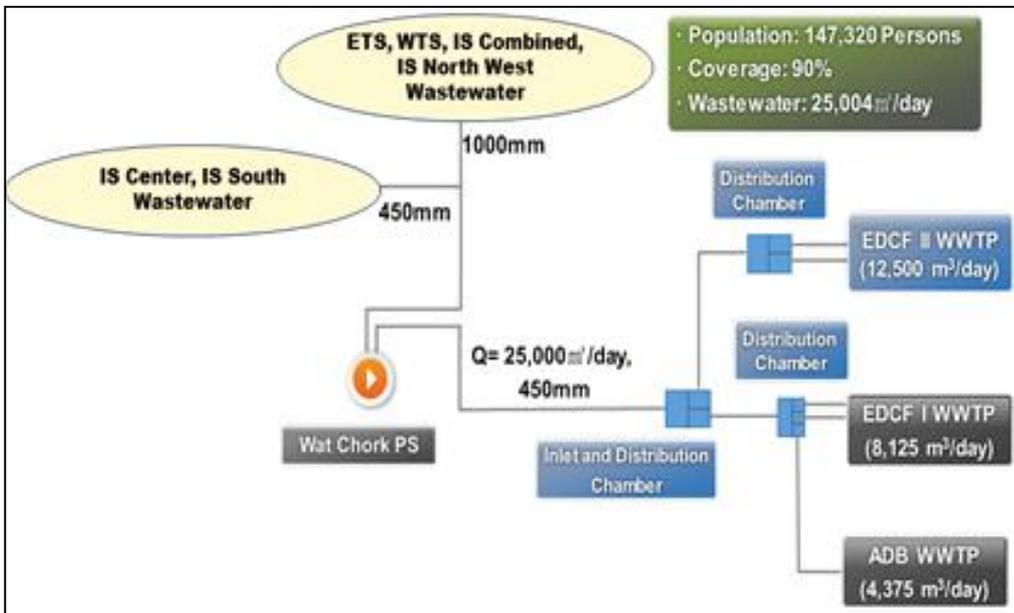


그림 4.25 Siem Reap 하수시스템 계획 모식도 (한국수출입은행, 2020)

방글라데시는 개거와 하천에 쓰레기까지 유출시키는 반면 캄보디아는 쓰레기 수거가 비교적 잘 이루어지고 있다. 정화조 상등수의 방류로 합류식 개거와 주요 지천에서는 악취를 유발하고 있었으며, 주요 지천의 수질조사결과 대장균이 다량 검출되었고 T-N 역시 높게 나타났다.

표 4.15 Siem Reap 주요하천 (평균)수질현황 (한국수출입은행, 2020)

구분	단위	1지역	2지역	3지역	4지역
BOD ₅	mg/L	99.1	103.3	103.0	60.5
COD _{cr}	mg/L	203.3	206.6	210.0	123.0
TSS	mg/L	61.1	68.1	68.6	33.8
T-N	mg/L	41.2	39.8	40.1	32.0
T-P	mg/L	0.83	0.71	0.82	0.58
총대장균군	MPN/100ml	1.2 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁵	9.9 × 10 ⁵	1.2 × 10 ⁵



그림 4.26 Siem Reap 처리구역 내 주요 소하천 현황

Phnom Penh의 경우 2016년 캄보디아 정부가 일본국제협력단(JICA) ODA자금으로 Phnom Penh의 하수도정비기본계획을 수립하였다. 기본계획의 주요 목적은 도시의 침수방지와 하수처리시스템의 구축으로 기본계획은 일본 컨설턴트(CTI, Nippon Koei, Katakyushu)에 의해 수행되었다. 현재 운영중인 공공하수처리시설은 없으며, 대규모 개발지의 하수처리시설이 개별 운영중인것으로 조사되었다.

표 4.16 Phnom Penh 하수시설 현황 (JICA, 2016)

가옥수 (가구)	화장실 유무(%)		화장실 형태(%)		
	No	Yes	Connecting to drainage	Septic Tank	Pit Latrine
352,702	7.1	92.9	71.8	19.7	1.3

기존 하수관로 약 55km로 주로 우수배제의 역할을 하고 있으며, 그 현황은 아래 그림과 같다.

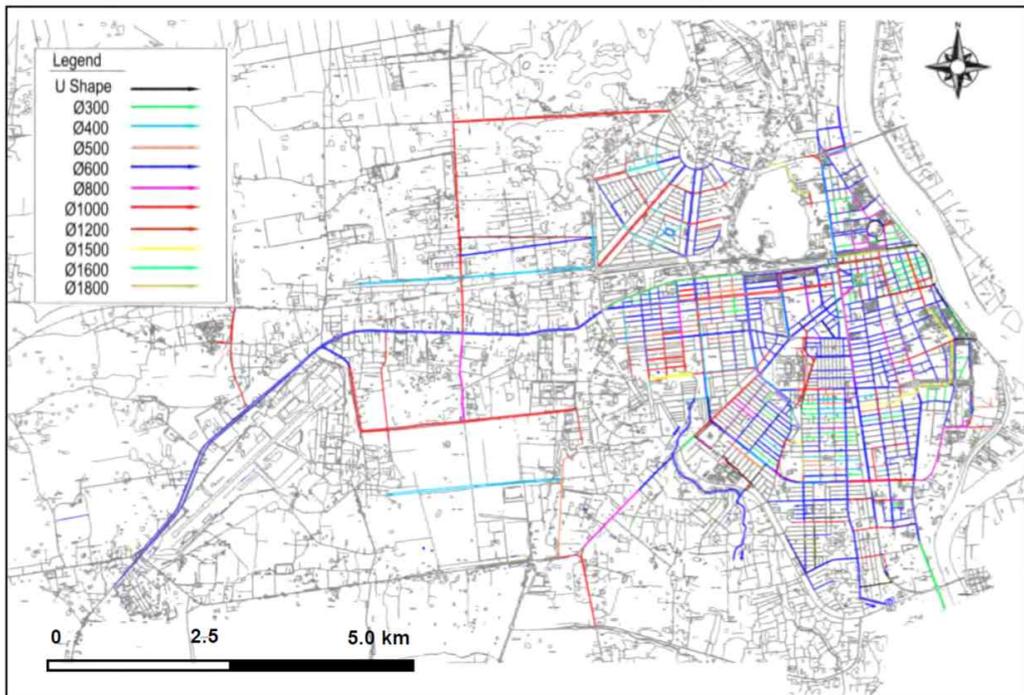


그림 4.27 Phnom Penh 기존 하수관로 현황 (JICA, 2016)



그림 4.28 Phnom Penh 처리구역 내 주요 소하천 현황 (JICA, 2016)

기존 하수처리시설은 대규모 개발지에 9개소가 운영중이다. 처리시설은 개별 개발자가 설치 및 운영중이며, 그 현황은 아래표와 같다.

표 4.17 Phnom Penh 대규모 개발지 하수처리현황 (JICA, 2016)

No.	개발지명	하수수집 면적(ha)	부지용도	계획인구 (인)	하수수집 방법	처리공법
1	Boueng Kok	133	상업, 주거	40,000	합류식	단독정화조
2	Diamond City	80	상업, 주거	5,000	합류식	Lagoon
3	Camko City	119	주거	10,000	분류식	활성슬러지
4	Grand Phnon Penh	233	상업, 주거	12,000	합류식	Bio-Filter
5	Chroy Changvar	13	상업	-	합류식	Unknown
6	Satellite City	380	상업, 주거	40,000	합류식	Unknown
7	Pratinum City	140	주거	8,000	합류식	단독정화조
8	ING City	2,572	주거	300,000	분류식	활성슬러지
9	BTP	10	주거	1,000	합류식	단독정화조

정부에 의해 운영되는 공공하수도계획은 목표연도를 2035년으로 설정하였으며, 그 내용은 다음 표와 같다.

표 4.18 Phnom Penh 하수처리시설 계획 (JICA, 2016)

구 분	내 용
공공 하수처리	<ul style="list-style-type: none"> • Cheung Aek 처리구역 : 282,000m³/일 하수처리시설 신설 <ul style="list-style-type: none"> - 인구 : 1,093,155명 - 면적 : 4,702ha - 하수수집방법 : 합류식 - 하수처리공법 : 활성슬러지공법 • Tamok 처리구역 : 단독처리(On-site Sanitation) <ul style="list-style-type: none"> - 인구 : 481,423명 - 면적 : 6,019ha • 기타지역 : 정화조 설치(인구 1,292,522명)

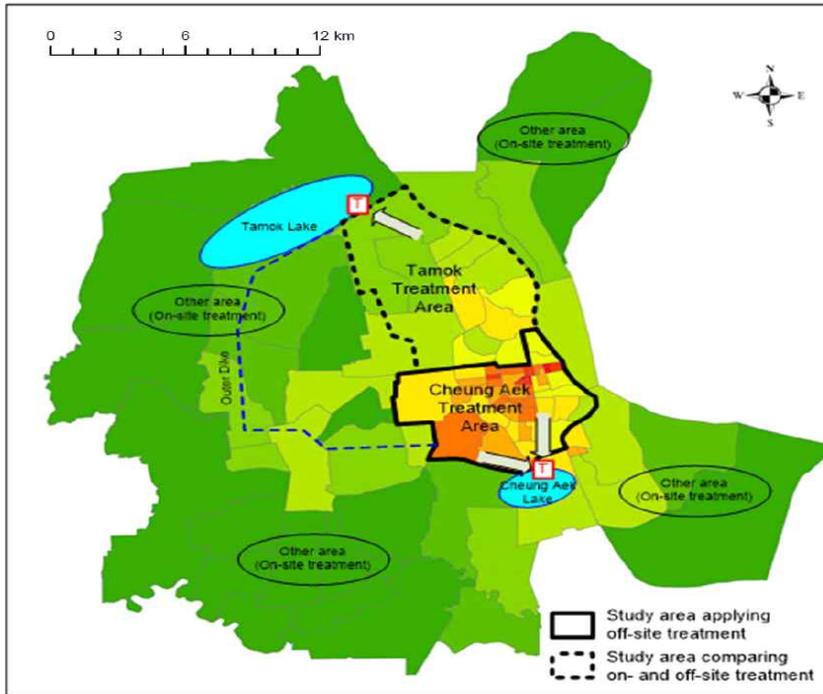


그림 4.29 Phnom Penh 하수처리계획도 (JICA, 2016)

4.3.2. 배제방식 검토

Siem Reap 하수처리구역은 2009년 최초 합류식으로 계획되어 운영중이었으나, 캄보디아 정부는 위생적으로 장점이 있는 분류식 하수수집 시스템을 2014년 EDCF 하수도 차관사업부터 도입하였다. 하지만 낮은 배수설비 연결율로 처리시설 운영을 위한 하수량 확보에 어려움을 겪고 있는 것으로 조사되었다. 캄보디아 정부는 낮은 배수설비 연결율을 높이기 위한 신규 하수도 사업을 계획하고 있으나, 베트남과 방글라데시의 사례와 같이 민원, 가옥구조, 저지대 가옥 다수 분포로 분류식으로 도입하기에는 많은 어려움이 예상된다.

Phnom Penh Cheung Aek 하수처리구역은 100% 합류식으로 계획되었다. 이는 기존 우수관과 개거를 활용하여 우수토실을 통한 하수차집으로 하수이송계획을 수립하였다. 반면 Tamok 처리구역은 단독처리로 계획되었다. Cheung Aek 처리구역은 기존 시가지이며, Tamok의 처리구역은 계획 개발지역인 것이 특징으로, 장래 개발계획에 대한 불확실성이 중앙집중식 하수처리시스템이 계획되지 않은 주요 원인으로 판단된다.

제 5장 결 론

5.1. 결론

개발도상국 중에서도 경제성장을 이루고 있고, 하수도 설치 사업 초기단계인 3개의 국가 7개의 도시에 대하여 하수도 현황과 계획, 현장 여건을 고려하고 하수배제방식을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 도시의 현황을 분석한 결과는 다음과 같다. 베트남은 도로 좌·우에 가옥이 벽을 맞대고 있으며, 정화조의 위치가 가옥 후면 지하에 설치되어 분류식을 적용하기에 매우 불리한 구조를 가지고 있다. 캄보디아는 전반적으로 가옥이 도로보다 낮게 위치하여 홍수에 취약하며 가옥 내 하수배제가 어렵다. 방글라데시는 기존 시가지의 슬럼화로 인해 하수배관을 매설 할 수 있는 공간이 부족하다.

2. 대한민국 컨설턴트에 의해 수행된 차관사업 타당성조사는 베트남 Viet Tri, 캄보디아 Siem Reap 와 같이 분류식 배제방식을 채택했던 특징이 있다. 반면 타국 또는 현지 컨설턴트에 의해 계획된 타당성 조사는 합류식 또는 현장여건을 고려하여 부분 분류식으로 계획된 것이 특징이다. 완전 분류식으로 계획된 캄보디아 Siem Reap 하수처리장과 부분 분류식으로 계획된 방글라데시 Dhaka Pagla 하수처리장은 낮은 분류식 배수설비 연결율로 하수량 확보에 어려움을 겪고있다.

3. 연구대상지역인 베트남, 방글라데시, 캄보디아는 분류식 하수배제방법을 적용함에 있어 현장 가옥구조에 기인한 배수설비 연결이 어려운 기술적인 문제도 있으나, 하수도사업이 개발도상국의 지속성장가능성을 확보하기 위한 재무성 미확보의 문제도 있다. 분류식 배제방법은 높은 초기 건설비와 유지관리비로 재무성이 합류식 대비 낮아 시설운영을 위한 사용자와 수원국의 재정부담이 높아지게 된다.

4. 개발도상국의 기존시가지에 하수수집방식으로 분류식을 점목하는 것은 경제규모, GNI, 재무성 및 현장상황이 좀 더 면밀하게 조사되어야 할 것으로 판단된다. 연구대상지역의 기존시가지에 대한 하수배제방식을 결정시에는 단기적으로 처리시설을 정상적으로

운영할 수 있는 하수량 확보 방안이 우선적으로 고려되어야 하며, 신규개발지는 오염물질은 효과적으로 수집하여 처리시설로 이송될 수 있는 분류식이 고려되어야 할 것이다.

5.2. 연구의 한계 및 제언

본 연구의 한계점은 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 개발도상국이 어느 정도의 GNI를 이루었을 때 분류식 수집방법이 적정한가에 대한 정량적인 데이터가 부족하다. 본 연구에서는 대한민국의 사례인 GNI 12,000불 정도 일 때 분류식으로 전환된 사례가 제시되었으나, 타 선진국의 사례가 수집되어 연구된다면 더욱 신뢰성이 제고될 것이다.

둘째, 공여국 및 수원국 사업 이해관계당사자를 대상으로 한 AHP분석 기법을 통해 하수 수집방법 선정에 중요한 우선순위 정량화에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 국무조정실 (2023), <http://odakorea.go.kr>
2. 통계청 (2023), 대한민국 GNI 변동 추이 <http://kosis.kr>
3. 한국수출입은행 (2021), 2022세계국가편람
4. 한국수출입은행 (2020), Feasibility Study for Green Siem Reap Urban Development Project - Sub Project 2. Siem Reap Sewerage and Storm Drainage System (Phase 2) Project
5. 환경부 (2018), 강우시 효율적인 하수처리 방안 마련을 위한 연구
6. 환경부 (2020), 하수도정비기본계획 수립지침
7. 환경부 (2023), 하수도통계
8. 환경부 (2016), 한국하수도 발전사
9. DAWASA (2012), Dhaka Sewerage Master Plan Project (Grontmij)
10. Hung Yen PPC (2008), Feasibility Study - Vietnam Program North II Wastewater Management in Hung Yen (Poyry)
11. JICA (2016), The Study on Drainage and Sewerage Improvement Project in Phnom Penh Metropolitan Area (CTI, Nippon Koei, Kitakyushu)
12. KOICA (2016), 국제개발협력(입문편)

13. Ninh Binh City (2012), Construction of Ninh Binh City Drainage, Wastewater Collection and Treatment System in Ninh Binh Province (LAVIC)
14. OECD (2023), 소득수준별 수원국 구분 <http://oecd.org>
15. Phu Tho Water Supply J.S.C (2012), Wastewater Collection and Treatment System for Viet Tri City - Phu Tho Province
16. World bank Index (2023), 방글라데시, 베트남, 캄보디아 GNI 변동추이
<http://data.worldbank.org>
17. World Bank (2020), Dhaka Sanitation Improvement Project
18. World Bank (2017), Preparation of a Sanitation & Drainage Improvement Strategy and Master Plan for the City of Chittagons

감사의 글

40이 넘은 나이에 공부를 해보겠다고 결심하고 지도교수님을 찾아갔던 2년 전이 떠오릅니다. 흥쾌히 제자로 받아주셨고 1999년 학부 때부터의 좋은 가르침으로 지금의 저를 있게 만들어 주셨으며, 형편없는 초안 논문을 현 수준까지 끌어 올려주신 김성홍 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 바쁘신 가운데에도 제 학위 논문의 심사위원을 맡아주시고 좋은 의견을 피력해 주신 김대현 교수님, 박상준 교수님께도 감사드립니다.

지난 2년간 교수님들의 지도를 통해 연구가 무엇인지, 제게 부족한 점이 무엇이고 어떤 방향으로 연구를 수행해야 하는지에 알 수 있었던 소중한 시간이었습니다. 교수님들의 제자로서 자랑스러운 연구자가 될 수 있도록 끊임없이 노력하겠습니다. 앞으로도 잘 부탁드립니다.

저는 인복이 정말 좋은 사람인 것 같습니다. 좋은 교수님들을 만나 부족하나마 논문을 만들어 낼 수 있었던 것도, 논문의 소재로 쓰인 개발도상국의 현장들도 저를 도와준 동료들이 있었기 때문이라 생각합니다. 특히 베트남, 캄보디아에서의 어려웠던 과업들이 돌이켜보면 특별하고도 값진 경험이 되었습니다.

힘들었지만 평생을 공부하라고 말씀하시는 어머님과 직장에서의 힘든 업무와 잦은 해외 출장에도 가정을 지켜준 아내에게도 고마운 마음과 사랑을 표현해 봅니다. 그리고 항상 사위 걱정을 해주시는 장인어른, 장모님께도 감사 드립니다. 열심히 공부하고 씩씩하고 자라는 민규, 윤재야, 너희들이 덕분에 아빠는 마음 편히 논문을 쓸 수 있었던다.

마지막으로 상하수도를 업으로 하는 사람으로써 항상 제가 하는일에 호기심을 가지고 연구자로서의 자세로 살아가도록 하겠습니다. 제 주변의 모든분들께 감사합니다.