

스마트 물관리 시스템과 WASCO 사업을 통한 공군기지 노후 상수도 개선사업의 실증 연구

박 성 수* · 김 창 은*

*명지대학교 산업경영공학과

A Study to improve old water supply facilities in Airforce Base through the Smart Water management vs WASCO Project

Sung-Su Park* · Chang-Eun Kim*

*Department of Industrial Management Engineering, Myongji University

Abstract

The purpose of this study is to analyze outcome of the project to improve old water supply facilities in Airforce Base to improve water revenue rate. To achieve the objective of this study, First, literature review is conducted to clearly define the concept of water revenue rate improve project. Second, WASCO project on 2 Airforce base review and smart water management pilot project on 1 Airforce base is conducted. Third, economical analysis of project is conducted to examine the outcome. As a result, WASCO and smart water management pilot project on Airforce base was effective to improve water revenue rate. Finally, the improvements were suggested after investigating the key factors on water revenue rate improve project. In the future, this study will be used as a baseline for developing water revenue rate improve project.

Keywords : Water revenue rate, WASCO(WATER Saving Company), Smart water management

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

현재 군에서 실시하고 있는 급수계통의 관리는 최초 설치 후 상수도관로의 노후 진행에 따라 다량의 누수가 발생한 지역을 확인하여 부분 보수하거나, 상수도관로의 교체 주기를 고려하여 시스템 전체 또는 일부를 교체하는 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 관리 방식은 초기 상수도관로 설치 후 보수비의 투자를 최소화할 수 있는 장점이 있으나, 보수 전까지 장기간 다량의 급수가 누출되는 것을 전제로 하고 있으며, 군 상수도 시설에 관한 연구도 찾아보

기 힘든 실정이다.

본 연구는 국방부 주관 물절약투자대행업(WASCO, WATER Saving COMPANY, 이하 'WASCO')과 스마트 물관리 시범사업을 통한 공군 비행단급 부대의 상수도 시설물의 우수율 개선 방안을 검토하였다. 이를 위해 먼저 국내 우수율 개선 연구현황과 적용 기법 그리고 국방부의 우수율 개선 지침 시행지침에 기반하여 수행하였다. 이에 따라 선행연구 및 사업 시행결과를 종합하여 군 내 노후 상수도 시설물 개선의 경제적 가치를 평가하여 군 노후 상수도의 우수율 관리 방법인 사후보전 방식이 아닌 계획보전의 적극적인 형태로 전환 필요성에 대해 제안하였다.

본 연구의 결과가 향후 공군 비행장 및 군 내 상수도 시설개선을 위한 기초자료로 활용되기를 희망한다.

†Corresponding Author : Chang-Eun Kim, Department of Industrial Management Engineering, Myongji University 116, Myeongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, E-mail: changkim@mju.ac.kr

Received: October 28, 2020; Revision Received: November 10, 2020; Accepted: November 11, 2020

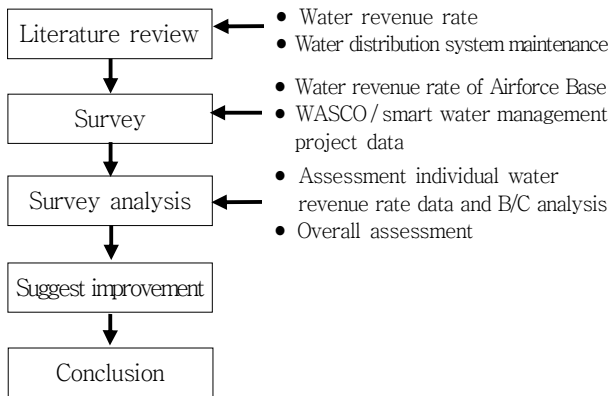
1.1.2 연구의 목적

연구는 WASCO 및 스마트 물관리 프로젝트를 통해 공군 비행장 내 상수도의 유수율 개선효과 및 경제적 가치에 대해 편익/비용 비율 분석법(B/C, Benefit Cost Ratio)을 적용을 통해 효과를 확인한다.

또한, 국내 지자체의 상수도 유수율 개선 현황과 군 유수율 개선 지침 비교를 통해 군 유수율 지침의 개선방향을 제안하도록 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 [Figure 1]과 같이 5단계로 나누어 수행하였다. 첫째, 선행연구 고찰을 통하여 유수율과 국내 상수관로 유지관리 현황에 대해 정의한다. 둘째, 공군 내 비행단급 부대에 대한 유수율을 고려한 사업대상 선정 및 사업경과에 대해 정리한다. 셋째, 사업시행 부대의 상수도 및 공공요금 증감에 따른 편익/비용 비율을 분석하고, 유수율에 영향을 미치는 요인을 분석한다. 또한, 국방부와 국내 유수율 개선 추진 경향과의 비교를 통해 국방부의 유수율 관리 필요성을 제시한다.



[Figure 1] Study method

2. 이론적 배경

2.1 유수율의 정의

2007 상하수도용어집(2007)에 따른 유수율의 사전적 의미는 ‘유수 수량을 배수량으로 나눈 것을 백분율(%)로 나타낸 것’으로, 정수장에서 생산해서 공급한 총 수량중 상수도요금에 반영된 비율을 말한다. 즉 전체 급류장 중

누수, 계량기 오차, 소방용수 등 공공용도의 사용량 등 요금을 부과할 수 없는 무수수량을 제외한 개념이다.

공군 비행장 내에서의 물 사용량의 측정 목적은 수도요금 산정이 아닌 물 관리 효율성 향상을 위한 것이다. 따라서 기존 유수율 개념을 그대로 적용하는 것이 적절하지 않아 본 논문에서는 실제 사용량을 급수량으로 나눈 것을 백분율(%)로 나타낸 것으로 적용하도록 한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Water Revenue Rate} &= \frac{\text{Actual Usage}}{\text{Water Supply}} \times 100 [\%] \\
 &= \frac{\text{Water Supply} - \text{Water Leakage}}{\text{Water Supply}} \times 100 [\%]
 \end{aligned}$$

2.2 국내 지자체의 상수도 유수율 개선 연구

<Table 1>은 환경부, 국회 치 국내 지자체 등에서 실시한 상수도 유수율 개선 관련 논문 등 자료를 조사한 것이다. 각 기관별 특성에 따라 일부 차이가 있으나, 유수율 개선을 위해 관로조사, 관망도 전산화(GIS), 블록시스템 교체, 노후관교체, 누수탐사, 수압관리, 계량기 교정 등을 적용한 것을 확인할 수 있었다.

상하수도를 운영 중인 서울특별시 등 국내 지자체들은 상수도 운영 효율성 증대, 수질개선 및 상하수도요금 정상화를 위해 유수율 개선을 위한 사업을 지속 추진 중이며, 대한환경공학회, 대한상수도학회 등 관련 학회의 연구도 활발히 진행 중이다. 서울특별시(2015)에 따르면 1989년 55.2%였던 서울의 유수율의 개선을 위해 노력한 결과 2014년 세계 최고 수준인 95.1%를 달성했다. 2019년 1월 환경부 수도정책과의 보도자료에 따르면 2017 상수도 통계에 따른 국내 전국 상수도 보급률은 99.1%, 1인 1일 물 사용량은 289 l이며, 유수율은 85.2%, 누수율은 10.5%이다. 상수관로의 GIS¹⁾ 구축은 142,188km로 전체 관로의 68%이며, 유량 원격 감시 중인 배수 블록시스템은 계획대비 65% 수준이었다.

2.3 국방부의 유수율 관리

2.3.1 군사시설사업 관리훈령

국방부는 군사시설사업 관리훈령(2019)에 에너지절약을 위해 누전·누수 등 낭비되는 에너지가 없도록 하고 있으나, 유수율 관리를 위한 세부지침은 별도로 두고 있지 않다. 다만, 에너지관리 효율화를 위해 누수탐사 및 보수, 노후관 교체, 상수도 시설 진단 등 물 절약과 관련된 분야

1) GIS(Geographic Information System) : 지리정보를 필요 목적에 따라 수집, 저장, 변환한 컴퓨터 응용 시스템.

<Table 1> Survey of water revenue rate improving method

Author (year)	Research Content	Variables associated with water revenue rate
Korea Institute of Construction Technology (2017)	Technology plan to improve water flow rate in water supply pipeline using big data	Make 3D GIS of water pipe network map, High-precision water leak detection technology, Performance evaluation of water pile using big data
Seoul City (2015)	White paper commemorating the achievement of 95.1% water revenue rate in Seoul	Water leak detection, Install Block system, Computerize water pipe network map (GIS), Old water pipe replacement, Water pressure management, Water meter exchange
Yang, B.K. (2007)	Ways to rationalize water supply management by improving water revenue rate	Install Block system, Water leak detection, Computerize water pipe network map (GIS), Old water pipe replacement, Water meter exchange, Increase charge
Lee, H.D. (2007)	Analyze the problem of improving the water revenue rate in water supply system	Make water pipe network map, Install Block system, Water leak detection, Old water pipe replacement, Water meter exchange/calibration
Kim, D.H. (2007)	Ways to rationalize water supply management by improving water revenue rate	Pipeline investigation, Computerize water pipe network map (GIS), Install Block system, Water leak detection, Old water pipe replacement, Water pressure management, Water meter calibration
National Assembly Environment and Labor Committee (2003)	Study on measures to improve water revenue rate of water supply system	Pipeline investigation, Computerize water pipe network map (GIS), Install Block system, Water leak detection, Old water pipe replacement, Water pressure management, Water meter calibration
Hyun, I.H. (2002)	Analysis of Provision for Water Revenue Rate in Local Water Service	Pipeline investigation, Install Block system, Water leak detection, Old water pipe replacement, Water meter calibration
Ministry of Environment (2001)	Study on improving method of water revenue rate	Pipeline investigation, Computerize water pipe network map (GIS), Install Block system, Water leak detection, Old water pipe replacement, Water meter calibration

<Table 2> Stand repair cycle

Catagory	Type	How to Repair	Repair Cycle (year)	Repair Rate (%)
Water Supply Facility	Water Pump	Partial Repair	5	10
		Full Replacement	10	100
	Elevated Water Tank (Iron Plate, Concrete)	Coating	3	100
		Partial Repair	7	20
		Full Replacement	15	100
	Elevated Water Tank (STS, Synthetic Resin)	Partial Repair	7	20
		Full Replacement	25	100
Water Pipe(Steel Pipe)	Full Replacement	15	100	
Watef Pipe (Bronze Pipe, Synthetic Resin Pipe)	Partial Repair	10	5	
Flow meter	Full Replacement	8	100	

에 WASCO 사업을 시행할 수 있도록 하고 있다.
 군에서 추진하는 WASCO사업 대상은 에너지 절감효과를 고려하여 6년 내에서 투자사업비를 상환 가능할 경우 시행할 수 있다. WASCO 사업 이외의 상수도 시설물 보수는 <Table 2>의 군사시설사업 관리훈령의 시설물 표준 수선주기를 따른다. 급수에 필요한 급수펌프, 수조, 급수관, 유량계로 나누어 수선방법과 주기를 정하고 있으며, 수선주기 및 부대별 운영여건에 따라 유지관리하고 있다.

2.3.2 국방·군사시설기준

국방부 국방·군사시설기준의 급수시설기준에(2012)도 급수시설 및 배수지 용량, 상수도관망, 상수관의 적정 설계수압 등 설치 기준에 대해 정하고 있다. 급수관로의 블록시스템 적용은 예산을 고려하여 가지식 배관과 블록 시스템을 절절히 배합하도록 하고 있다. 국방·군사시설 기준은 최초 설치를 위한 내용에 한정되어 있으며, 설치

후 상수도시설 유지관리를 위한 내용을 별도로 다루지 않고 있다.

2.3.3 WASCO 사업추진 매뉴얼

국방부의 군부대 물절약투자대행업(WASCO)의 사업 추진 매뉴얼은 2012년 환경부에서 발간한 'WASCO사업 추진안내서'를 군부대 여건에 맞게 수정한 것으로 2001년 환경부의 유수율 제고 연구의 기법이 모두 망라되어있다.

사업추진이 결정되면 물절약 전문업체는 부대별 보유 중인 관망도, 요금자료, 지적도 등 기초자료를 수집하고, 가압장, 배수지 등 주요 시설물과 설비를 조사한다. 또한 확보한 관망도를 바탕으로 관로 매설지점과 밸브, 계량기 등의 실제 위치 및 환경을 조사한다. 현장조사가 완료되면 기존 자료와 현장조사 결과를 활용하여 관망도 작성 지침에 따라 관망도를 작성하고, WASCO 사업 중 유수율 관리를 위한 관망 시스템 해석 및 개선방안을 검토한다. 최종적으로 관망 시스템 해석을 통해 관망 구성 방안, 노후 관로 교체, 수압관리 등 관망정비 계획을 통해 유수율 제고 전략을 수립하도록 하고 있다.

앞에서도 언급한 것과 같이 군사시설사업 관리훈령 등 상위 지침문서에 상수도관리를 위한 세부 내용이 없어, 향후 군 부대의 유수율 제고를 위해 국방부의 군사시설사업 관리 훈령 등 상위 지침을 마련할 경우 본 매뉴얼 및 부대별 WASCO 사업 결과를 분석하여 참고로 하면 도움이 될 것으로 판단된다.

3. WASCO사업 및 결과분석

3.1 부대별 현황 조사 및 사업 대상 선정

WASCO는 대상부대의 급수량, 누수량, 사업 완료 후 누수 저감 예상량 및 물 절감에 따른 예산 절감액 등을 종합하여 사업 타당성을 검토한다. 사업범위, 기간 등 고려 시 사업성 확보 시 사업을 추진하지만, 사업성이 없으면 사업 대상에서 제외한다. <Table 3>은 WASCO 사업 타당성 검토를 위해 비행단급 14개 부대를 대상으로 실시한 타당성 평가의 세부 결과이다. 공군의 비행단급 14개 부대의 연평균 누수율은 33.93%로 전 부대가 국내 평균 누수율인 10.5%를 초과하였고, 연간 약 22억 원의 상수도료가 누수로 손실되는 것으로 추정되었다. 이중 사업성이 인정된 2개 부대에 WASCO 사업을 시행하였다.

A 비행단, G 비행단, K 비행단 및 N 사관학교의 경우는 누수율이 39%~62%로 높았으나 사업비 회수기간 장기화 등의 이유로 사업대상에서 제외되었는데, 향후 현재의 보수적인 WASCO 사업 타당성 평가 기준의 적정성 등에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2 J 비행단/M사령부 WASCO 사업결과

J 비행단에는 누수탐사 등 5개, M 사령부에는 블록시스템 도입 등 6개 기법을 적용하였다. 2개 부대 모두 기존에 부대별로 보유한 관망도를 활용하여 관로조사 및 GIS 관

<Table 3> Feasibility survey result of WASCO on Airforce base

Airforce Base	Annual water supply (m ³ /year)	Estimated leakage (m ³ /year)	Leak rate (%)	Annual water bill (Thousand Won)	Estimated money due to leak (Thousand Won)	Estimated cost to renovate (Billion Won)	Payback period (year)	Remark
A Wing	466,461	185,785	39.83	402,563	160,341	22.2	6.2	Re-location
B Wing	511,969	61,320	11.98	967,492	115,906	22.4	16	
C Wing	341,864	79,716	23.32	597,521	139,342	19.2	14.3	
D Wing	667,403	163,265	24.46	237,050	57,982	28.1	11.3	
E Wing	290,540	61,320	21.11	562,023	118,643	25.5	14.1	Re-location
F Wing	1,158,424	318,864	27.53	1,087,417	299,366	42	6	Re-location
G Wing	427,346	190,092	44.48	308,873	137,387	29.3	13.1	
H Wing	445,674	125,268	28.11	613,652	172,498	21.5	15.5	
I Wing	Operate own water purification plant							
J Wing	390,559	126,144	32.30	432,083	139,563	20.52	6	WASCO
K Wing	812,137	508,336	62.59	335,961	210,278	24.6	15.6	
L Wing	Groundwater use							
MCommand	1,320,476	420,480	31.84	1,069,501	340,529	21.5	5	WASCO
N Academy	315,482	184,581	58.51	527,187	308,457	22	7	
Total	7,148,335	2,425,171	33.93	7,906,139	2,200,292	* Average domestic leak rate : 10.5%		

<Table 4> Applied method for improving water revenue rate

Catagory	Pipeline investigation	Water pipe network map(GIS)	Install Block system	Water leak detection	Old water pipe replacement	Water pressure management	Water meter calibration	Smaart water meter/sensor
J Wing	○	○	△	○	○	×	○	×
MCommand	○	○	○	○	○	○	○	△

<Table 5> Facility renovation contents

Catagory	Term	Cost	Facility renovation content
J wing	1. Feasibility review : 2012. 10. 2. Facility renovatrion : 2013. 10. ~ 2014. 12.	22.8 billion Won	1. Water pipe replacement : 5.3km 2. Install bypass water pipe : 550m 3. Old valve replacement 4. Leak pipe repair : 28ea 5. Install flow meter : 2ea 6. Install water meter : 131ea
MCommand	1. Feasibility review : 2014. 6. 2. Facility renovatrion : 2015. 10. ~ 2016. 9.	21.4 billion Won	1. Water pipe replacement : 1.53km 2. Leak pipe repair 3. Install small Block-system a. Replace leakage valve : 10ea b. Install flow meter : 6ea c. Install water meter : 44ea 4. Install maintenance system a. TMflow meter : 3ea b. Install maintenance system 5. Install pressurization station : 1ea 6. Install electric valve : 2ea

<Table 6> Water revenue rate, J Airforce base

Catagory	Before renovate	2015.12. ~2016.11.	2016.12. ~2017.11.	2017.12. ~2018.11.	2018.12. ~2019.11.	total
Water supply (m ³)	35,892	307,804	311,609	266,494	277,854	1,163,761
Water usage (m ³)	20,114	270,446	259,531	234,299	232,410	996,686
Water revenue rate (%)	56.04	87.86	83.29	87.92	83.64	85.64

<Table 7> Water revenue rate, M command

Catagory	Before renovate	2016.10. ~2017.9.*	2017.10. ~2018.9.	2018.10. ~2019.9.	Total
Water supply (m ³)	89,191	884,892	896,439	878,046	2,659,377
Water usage (m ³)	65,806	912,600	868,282	851,087	2,631,969
Water revenue rate (%)	73.78	103.13	96.86	96.93	98.97

* 2016. 10. ~ 2017. 9., Due to main water meter failure, replaced main water meter after cooperation with local government

망도를 작성하여 전산화하였다.

J 비행단의 경우 건물이 원거리에 떨어진 비행장의 특성으로 기존 가지식 상수관로 중 지하채 상수도 인입 구간에 예비관을 설치하는 형식의 부분적 블록시스템 형식을 취하였고, 별도 수압관리 시설은 설치하지 않았다.

J 비행단과 M 사령부의 WASCO 사업 내용은 <Table 5>와 같다.

유수율 측정을 위해 유입지점 및 모든 사용건물에 계량기를 설치하였고, 사용건물별 계량기 양의 총합과 유입량

비교를 통해 유수율을 산출하였다. J 비행단은 '15년 12월부터 '19년 11월까지 유입량대 사용량을 측정하여 유수율을 산출하였다. <Table 6>은 유수율 자료로 기존 유수율인 56.04% 대비 평균 85.64%로 향상되었다.

M 사령부는 '16년 10월부터 '19년 9월까지 유입량대 사용량을 측정하여 유수율을 산출하였다. <Table 7>은 해당 기간 유수율 자료로 기존 유수율인 73.78% 대비 평균 98.97%로 향상되었다.

3.3 N사관학교 스마트 물관리 시범사업 결과

N사관학교의 스마트 물관리 시범사업 내용은 <Table 8>과 같다. N사관학교는 WASCO 사업 타당성 평가 시 사업성이 없는 것으로 평가된 부대로 2016년 사업타당성 평가시 사업비는 약 22억 원이다. 스마트 물관리 시범사업은 K-water와 상호협력 합의를 체결 후 기술협조를 받아 시행하였다.

WASCO 사업과 달리 누수 탐사와 노후 상수관 교체를 제외하고 <Table 9>와 같이 기존에 구성된 블록시스템에 스마트 물관리 시스템과 디지털 수도미터, 누수감지센서 및 전자식 유량계 등을 부착하는 방식으로 사업을 진행하였고, 소요예산은 10.38억 원이었다.

<Table 10>은 2017년 12월부터 2019년 11월까지 N사관학교의 유수율 자료로 기존 유수율인 41.49% 대비 평균 69.95%로 향상되었다. 수도미터, 누수방지 센서 등을 설치 후 부대 자체의 유지관리 기능을 돕는 특성을 가진 스마트 물관리 시범사업 특성상 WASCO 사업 대비 유수율 증가가 크지 않았지만, 사업 시행 후 기간 경과에 따라 유수율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 분석 및 대응방안

4.1 비용 대 편익 분석

J 비행단과 M사령부의 WASCO 사업 성과와 N사관학교의 스마트 물관리 시범사업 결과는 <Table 11, 12, 13>과 같다. WASCO 사업 및 스마트 물관리 시범사업 후 상수도 및 공공요금 지출 실적을 통해 유수율 개선을 통해 경제성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

<Table 11>과 같이 J 비행단은 WASCO 사업 후 물 사용량이 평균 31.92% 감소하였으나, 지방상수도료 인상의 영향으로 상수도 요금은 21.82% 절감에 그쳤다. 상수도료 인상금액 추정은 복잡한 상수도료 산출방식을 고려하여 연간 상수도료 납부금액을 연간 물 사용량으로 나누어 연도별 상수도료 평균단가를 산출하였다. 2019년 상수도료는 1,723원으로 2009년부터 2013년까지 5년 평균 요금인 1,431원 대비 약 20% 증가하였다. 상수도료 인상에 따른 공공요금 절감금액은 상수도 절감량과 평균 단가를 곱하여 추정하였으며, 6년간 절감액은 약 12.2억 원으로 추정되었다.

<Table 12>와 같이 M 사령부는 WASCO 사업 후 물 사용량이 32.09% 감소하였고, 11.31%의 공공요금이 절감되었는데 이 또한 지방상수도료 인상의 영향이다. 2019

<Table 8> Facility renovation contents

Category	Term	Cost	Facility renovation content
N Academy	1. MOU signed between Airforce and K-water : 2012. 10. 2. Facility renovatrion : 2016. 11. ~ 2017. 12.	10.38 billion Won	1. Install digital water meter : 107ea 2. Install leakage detection sensor : 118ea 3. Install digital flow meter : 2ea 4. Multi-purpose water quality mete : 2ea 5. Re-chlorination facility : 1ea 6. Pressure reducing valve : 1ea 7. Water hammer arrester : 1ea 8. Drinkin fountain : 2ea 9. Simple water quality meter : 3ea 10. Smart Water management system

<Table 9> Applied method for improving water revenue rate

Category	Pipeline investigation	Water pipe network map (GIS)	Install Block system	Water leak detection	Old water pipe replacement	Water pressure management	Water meter calibration	Smaart water meter/sensor
N Academy	○	○	○	×	×	○	○	○

<Table 10> Water revenue rate, NAcademy

Category	Before renovate	2017.12. ~2018.11.	2018.12. ~2019.11.	Total
Water supply (m ³)	315,482	290,934	247,172	538,106
Water usage (m ³)	130,901	190,705	185,679	376,384
Water revenue rate (%)	41.49	65.55	75.12	69.95

<Table 11> Changes in water consumption, J Airforce base

Catagory	2009~2019 (5-year average)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	total
Water usage (m ³)	403,231	347,480	254,151	255,172	304,321	278,007	249,742	1,688,873
Water saving (m ³)	-	55,751	149,080	148,059	98,910	125,224	153,489	730,513
Saving rate (%)	-	13.83	36.97	36.72	24.53	31.06	38.06	30.19
Price (Thousand won)	577,041	542,535	382,691	447,316	523,825	484,456	430,283	2,811,106
Money saving (Thousand won)	-	34,506	194,350	129,725	53,216	92,585	146,758	651,140
Saving rate (%)	-	5.98	33.68	22.48	9.22	16.04	25.43	18.81
Avg. unit price of water (won)	1,452	1,561	1,506	1,753	1,721	1,743	1,723	
Water saving × Avg. unit price of water (Thousand won)		87,027	224,514	259,547	170,224	218,265	264,461	1,224,038

* Water saving was reflected from 2014, due to large amount of water saving from start of WASCO's water supply system renovation in 2013

<Table 12> Changes in water consumption, M command

Catagory	2011~2015 (5-year average)	2016*	2017	2018년	2019	total
Water usage (m ³)	1,203,495	825,583	724,106	865,643	817,319	3,232,651
Water saving (m ³)	-	377,912	479,389	337,852	386,176	1,581,329
Saving rate (%)	-	31.40	39.83	28.07	32.09	32.85
Price (Thousand won)	1,080,745	781,752	845,591	1,137,266	1,069,503	3,834,112
Money saving (Thousand won)	-	298,993	235,154	-56,521	11,242	488,868
Saving rate (%)	-	27.67	21.76	-5.23	1.04	11.31
Avg. unit price of water (won)	898	947	1,168	1,314	1,309	
Water saving × Avg. unit price of water (Thousand won)		357,883	559,926	443,938	505,504	1,867,251

* Water saving was reflected from 2016, due to large amount of water saving from start of WASCO's water supply system renovation in 2015

년 M 사령부 상수도료는 1,309원으로 2011년부터 2015년까지 5년 평균 요금인 898원 대비 약 46% 증가하였다. 상수도료 인상에 따른 공공요금 절감금액은 상수도 절감량과 평균단가를 곱하여 추정하였으며, 4년간 절감액은 약 18.7억 원으로 추정되었다.

<Table 13>과 같이 N 사관학교는 스마트 물관리 시범 사업 후 물 사용량이 16.01% 감소하였고, 12.48%의 공공요금이 절감되었다. 2019년 N 사관학교의 상수도료는 2,180원으로 2013년부터 2016년까지 5년 평균 요금인 2,063원 대비 약 5.67% 증가하여 J 비행단과 M 사령부에 비해 증가율은 높지 않았으나, m³당 단가는 가장 높았다. 상수도료 인상에 따른 공공요금 절감금액은 상수도 절감량과 평균단가를 곱하여 추정하였으며, 2년간 절감액은

약 2.03억 원으로 추정되었다.

<Table 11, 12, 13>의 자료를 바탕으로 비용대 편익비용을 분석하였다. 한국개발연구원의 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침(2008)의 비용대 편익비용은 산출식은 아래와 같다.

$$Benefit\ Cost\ Ratio(B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Bt : Benefit at time t, Ct : Cost at time t
 r : Discount rate, n : terms

비용대 편익비용 산출을 위해 편익은 <Table 11, 12, 13>에서 연간 상수도 절감량에 상수도료 평균단가를 곱한 값

<Table 13> Changes in water consumption, N Academy

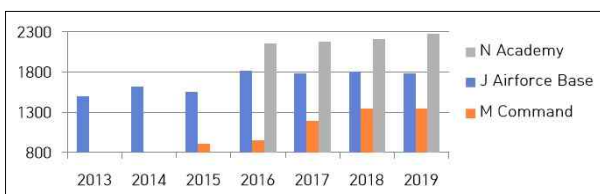
Category	2013~2016 (5-year average)	2018년	2019	total
Water usage (m ³)	294,290	252,509	241,812	494,321
Water saving (m ³)	-	41,781	52,478	94,259
Saving rate (%)	-	14.20	17.83	16.01
Price (Thousand won)	607,211	535,645	527,187	1,062,832
Money saving (Thousand won)	-	71,566	80,024	151,590
Saving rate (%)	-	11.79	13.18	12.48
Avg. unit price of water (won)	2,063	2,121	2,180	
Water saving × Avg. unit price of water (Thousand won)		88,618	114,402	203,020

<Table 14> Benefit Cost Ratio of WASCO

Category	J Airforce base	M Command	N Academy
Benefit	Annual water saving × Avg. unit price of water		
Cost (Annual payment to WAWCO)	3.42 Billion Won/year	4.30 Billion Won/year	10.38 Billion Won
Discount rate	5.5%		
Terms	6 year	4 year	7year
Benefit Cost Ratio(B/C)	0.59	1.08	0.64

을 적용하였고, 비용은 WASCO 업체에 대한 연간 지급 금액을 적용하였다. 할인율은 2008년 KDI에서 발행한 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침에 따라 5.5%를 적용하였다. <Table 14>는 J 비행단과 M 사령부의 WASCO 사업 및 N 사관학교의 비용대 편익 추정결과이다. WASCO 사업의 편익은 J 비행단이 0.59, M 사령부가 1.08이었고, N 사관학교는 타당성 검토 결과의 사업 기간인 7년 적용 시 사업의 편익 0.64이었다.

N 사관학교의 편익이 상수도 점감량 및 공공요금 절감액에 비해 높게 나온 것은 사업비가 타 부대에 비해 50% 수준이었고, 상수도 단가가 높은 것이 반영된 것이다. 부대별 상수도 단가는 [Figure 2]와 같으며, J 비행단이 1,431원/m³에서 1,723원/m³으로 약 20.4%(292원/m³), M 사령부가 898원/m³에서 1,309원/m³으로 약 45.7%(411원/m³), N 사관학교가 2,063원/m³에서 2,180원/m³으로 5.7%(117원/m³) 증가하여 점진적 증가 추세이다.



[Figure 2] Avg. unit price of water

상수도 시설물의 효율적 유지관리를 지원하는 N 사관

학교의 스마트 물관리 사업의 특성상 우수율의 점진적인 개선을 통해 편익이 증가할 것으로 판단된다. 통상 편익대 비용 비율이 1 이상일 경우 사업 타당성이 있는 것으로 판단하는데, 상수도 우수율 개선이라는 공익사업의 특성, 상수도 시설물 투자에 따른 기타 편익 등을 제외한 것과 편익산출 기간이 4년에서 7년으로 짧다는 점을 고려 시 사업 타당성이 있는 것으로 판단되었다.

<Table 15> Benefit of projects

Category	J Airforce base	M Command	N Academy
Water consumption saving (m ³)	730,513	1,581,329	94,259
Water bill reduction calculation (Billion Won)	12.2	18.7	2.03

WASCO 사업 및 스마트 물관리 시범사업 효과는 <Table 15>와 같다. 우수율 개선사업을 통해 경제성 및 물 절약을 통해 수자원 이용 효율성이 증가하는 것을 알 수 있었다.

4.2 연구의 시사점

4.2.1 군 부대 우수율 현황 데이터시스템 구축

WASCO 사업 타당성 검토결과 종합을 통해 공군의 비

행장급 부대의 유수율 현황을 파악하였다. 2012년부터 국방부 주관으로 실시한 국방부의 WASCO 시범사업을 시작으로 공군 내 비행단급 부대의 상수관로 현황과 누수 현황 조사를 시행하였다. 현황 조사를 위해 한국환경공단은 공군과 공동 조사반을 구성하여 부대별 시설현황 및 급수자료 분석, 현장조사 및 야간최소유량 측정 등을 시행하였다. 이를 통해 비행단급 대규모 부대의 유수율 현황을 파악하여 상수도 시설 유지관리를 위한 기초자료를 축적할 수 있었다.

4.2.2 군 부대 유수율 지속관리 및 개선

사업 타당성 검토를 위해 비행단급 14개 부대를 대상으로 실시한 타당성 평가 세부 결과, 공군의 비행단급 14개 부대의 연평균 누수율은 33.93%로 전 부대가 국내 평균 누수율인 10.5%를 초과하였고, 연간 약 22억 원의 상수도료가 누수로 손실되는 것으로 추정되었다. 따라서, 부대 내 유수율 개선을 위한 지속적인 노력과 예산투자가 필요한 것으로 판단되었다.

4.2.3 WASCO 사업 선정기준의 개선

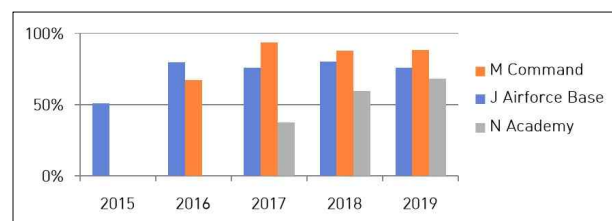
WASCO 사업을 실시할 경우 대상부대의 유수율 개선 및 공공요금 절감 등 이점이 있는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 군사시설사업 관리훈령 및 군부대 물절약투자대행업(WASCO) 사업추진 매뉴얼의 사업대상 선정기준 등으로 인해 사업 대상 확대가 제한된다. 군사시설사업 관리훈령은 6년 이내에 WASCO 투자사업비 상환이 가능한 경우로 사업대상을 한정하고 있다. 또한, 부대 물절약투자대행업(WASCO) 사업추진 매뉴얼은 추정 누수율이 30% 이상, 지방상수도 인입이 30년 경과, 상수도 절감이 연간 1억 원 이상인 부대로 정하고 있다.

2012년부터 2019년까지 시행한 타당성 조사 비행단급 14개 부대 중 2개 부대만 사업을 시행했고, K 비행단의 경우 누수율이 62.59%임에도 불구하고 지역 상수도 단가가 낮아 투자사업비 상환기간 장기화로 사업대상에서 제외되었다. 현 국방부 기준상 사업대상 선정 시 누수율 및 지역별 상수도 단가를 고려했는데, 선정기준 대비 누수율이 낮거나 높아도 상수도 단가가 낮아 사업성이 떨어지는 부대가 발생했다. 이러한 제한으로 전체 부대로 사업을 확대하는 것이 제한되었다.

4.2.4 유수율 개선방안 다변화

국내 상수도 평균 유수율인 85.2%를 (환경부 수도정책

과, 2019) 수준을 만족하는 부대는 WASCO 사업을 실시한 2개 부대를 포함하여 3개에 불과하며, 11개의 부대가 유수율 개선이 필요한 실정이다. 이러한 WASCO 사업의 제한사항을 보완하기 위해 시행한 것이 스마트 물관리 시범사업이다. N 사관학교의 스마트 물관리 시범사업에서는 기존 WASCO 사업과 달리 누수 탐사와 노후 상수관 교체를 제외하고 기존에 구성된 블록시스템에 스마트 물관리 시스템과 디지털 수도미터, 누수감지센서 및 전자식 유량계 등을 부착하는 방식으로 사업을 진행하였으며, 유수율 개선이 가능한 것을 확인하였다.



[Figure 3] Water revenue rate of units

[Figure 3]과 같이 부대에 따라 연도별 유수율 변화 그래프에 특징이 있는데, WASCO 사업을 통해 상수관로 등 노후 시설물을 교체한 J 비행단과 M 사령부의 경우는 공사 완료 후 개선된 유수율이 점진적으로 하강하는 경향이 있지만, 스마트 물관리 시범사업 부대인 N 사관학교는 공사 완료 후 유수율이 지속적으로 상승하는 경향성을 보였다. 이것은 스마트 계량기 / 센서 설치 후 누수량 변화에 따라 부대 자체 상수도 보수 및 관리를 통해 유수율을 개선했다는 데서 그 의미가 크다.

시범사업 공사 이후 N 사관학교의 상수도 누수 보수 실적 78건 중 57건이 건물 내부 누수였고, 누수 발생 초기에 식별이 가능해졌고, 수압감시 기능을 통해 수압 편차를 조정해 유수율 향상에 도움이 되었다. 이것은 상수관로의 관리 개념이 기존의 대규모 누수 발생 후 보수하는 사후보전 방식에서 발생 이전 또는 발생 초기에 이를 감지하고 설비를 관리하는 예방보전 방식으로 전환된 것을 의미한다.

WASCO 사업 대상자 선정기준에는 부합하지 않지만 유수율이 현저하게 낮은 부대에 대한 스마트 물관리와 같은 최신 유수율 개선기법 적용 등의 다변화를 통한 유수율 개선이 필요하다.

4.2.5 군 부대 유수율 관리지침 개선 필요

앞서 언급한 것과 같이 국방부의 WASCO 시범사업 추진 이외에 평상시 상수도 유수율 관리를 위한 지침이 없는 실정이다. 서울시 등 지자체들의 경우 상수도 유수율 향상을 위해 꾸준한 예산편성과 노력을 집중해온 것을 보면,

군 내 상수도 유수율 개선을 통한 에너지절약 및 국고 절약을 위한 관리지침의 마련과 지속적인 예산편성 등 방안의 마련이 시급한 실정이다.

4.3 군 적용 스마트 물관리 시스템 도입

4.3.1 군 부대 유수율 관리 및 군 상수도 시설 유지관리를 위한 지침 마련

선행연구에서 확인한 바와 같이 군부대 유수율 개선을 위한 국방부의 별도 지침이 없으며, 국방부 군사시설사업 관리훈령에는 에너지 절약의 일환으로 누수방지 등을 언급한 정도로 제한되고 있다. 구성태, 김창은(2013)은 설비관리를 위한 한국형 계획보전 6스텝을 통해 보전환경 정비, 일상개량정기예지보전체계 구축 및 보전정보시스템 완성 절차를 설명하였다. N사관학교의 사례와 같이 스마트 물관리 시스템과 같은 IoT 기반 시설관리 시스템 설치를 통해 기존 상수도 시설에 대한 계획보전 체계 구축 환경 조성이 가능하고, 설비보전 개념을 군부대 유수율 및 상수도 시설물 유지관리 지침으로 발전시켜야 한다. 군에서 사용하는 상수도는 유사시를 대비한 전시자원의 의미를 내포하므로 평상시 군부대 유수율 관리 활동이 필요하며, 시행을 위한 국방부 훈령과 각종 기준의 개선이 필요하다.

4.3.2 외부 전문기관과 기술협력 추진

K-Water 스마트 물 관리 시스템을 국내 기술로 개발 운영 중이며, 서울특별시 등은 세계 최고 수준의 유수율을 달성하여 상수도 시설의 경영 효율성을 높이고 있다. 군의 유수율 개선을 위해서는 외부 유수율 개선 전문기관과의 기술협력을 통해 선진화된 관리기법의 공유 및 군 내 운영 요원의 전문화 교육 등 인력 양성이 필요하다.

4.3.3 스마트 물관리 시스템 사업추진 논리개발

한국개발연구원(KID)의 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침(2008)에서는 시장가격이 형성되지 않는 비시장재의 경제적 가치를 측정하는 기법 중 조건부 가치측정법(CVM : Contingent Valuation Method)의 시행지침에 대해 설명하고 있다. 조건부 가치측정법은 초기에 환경 오염 개선, 녹지보전 등의 가치측정 방법으로 활용되었으나, 현대에 들어서는 공공부문 시설의 건립 등의 가치 판단을 위해 사용되고 있다. 조건부 가치측정법의 특성을 활용한 상수도 사업의 가치에 추정 연구가 진행되고 있는데,

김재홍(2006)은 울산광역시의 상수도 수질 개선의 가치를 10년간 1,978억 원으로 추정하였고, 류문헌(2011)은 광역상수도의 가치를 연간 최소 714억 원에서 최대 1,018억 원으로 추정하였다. 또한, 표희동(2014)은 부산시 상수도 수질개선의 가치를 연간 297억 원으로 추정한 바 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 WASCO 사업 대상부대 선정을 위해 실시한 부대별 현황 조사에 따른 부대별 유수율 개선 사업비가 평균 20억 원에서 30억 원이 소요되며, 유수율 개선사업을 시행하지 않은 부대에 적용하기 위해서 최대 300억 원 이상이 소요될 것으로 판단된다. 따라서, 조건부 가치측정법과 같은 가치추정 방법을 통해 공군 비행장의 유수율 개선의 가치를 판단하고, 개선사업을 추진 논리를 개발하는 것이 필요하다.

5. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 공군의 비행단급 2개 부대에 시행한 WASCO 사업 및 N사관학교에 대한 스마트 물관리 시범사업의 성과 및 국내 기관 및 지자체의 유수율개선 연구 등을 바탕으로 군의 유수율 개선 방향에 대해 검토하였다. 이에 따라 본 연구는 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, WASCO 사업을 시행한 2개 부대의 유수율이 국내 평균 유수율인 85.2% 수준으로 개선되었고, 스마트 물관리 시범사업 부대는 자체 유지관리를 통해 2019년 현재 유수율이 75%로 개선되었으며 지속 증가 추세에 있다.

둘째, 유수율 개선에 따라 J 비행단은 6년 간 약 12.2억 원, M 사령부는 4년 간 약 16.7억 원, N사관학교는 2년간 약 2억 원의 상수도 요금이 절감되었다. 이에 따른 비용대 편익비용은 J 비행단이 0.59, M 사령부가 1.09, N사관학교가 0.64이었다.

셋째, WASCO 사업 참여를 통해 비행단급 대규모 부대의 유수율 현황을 파악하여 상수도 시설 유지관리를 위한 기초자료를 축적할 수 있었고, 국내 평균 수준 대비 유수율 저하로 유수율 개선의 필요성이 발견되었다.

넷째, 상수도로 절감분을 수익으로 가져가는 WASCO 사업의 특성상 전 부대로 적용 확대는 제한되었고, WASCO 사업 제외부대의 유수율 개선과 평상시 군부대 유수율 관리를 위한 계획보전 개념의 지침 마련이 시급한 것으로 판단되었다.

이상의 분석결과에 따라 본 연구는 미래 군 부대 유수율 관리 및 효율적인 물관리 시스템을 위해 군의 관리지침 개선 및 구축과 국내 유수율 개선 전문기관과의 기술협력을 통한 비시장재에 조건부 가치측정법 등을 활용한 가치 판

단과 개선사업 추진 논리를 통한 혼합된물관리 시스템인 Hybrid WASCO/Smart Water Management System 도입체제 구축을 제안하는 바이다.

본 연구는 공군 비행단급 부대 중 WASCO 사업과 스마트 물관리 시범사업을 시행한 부대 한정하여 수집 가능한 자료 내에서 수행으로 제한되었다. 추후 연구는 우수율 개선 결과 및 K-Water 등 유관 전문기관 협조사례 등을 종합적으로 분석할 필요가 있으며, 국방부 내 육·해·공군 및 국직 부대의 상수도 우수율 개선에 도움이 될 수 있도록 연구 대상도 확대하여 군내 상수도 우수율 개선에 도움이 될 수 있도록 발전하여야 할 것으로 판단한다.

6. References

- [1] Airforce Headquarter(2016-2019), The analysis result of saving energy and cost.
- [2] B. K. Yang(2007), Ways to rationalize water supply management by improving water revenue rate. Municipal Administration Banquet of Daegu, pp. 121-173.
- [3] D. H. Kim, J. S. Lee, S. K. Han(2007), "Analysis on the non revenue water reduction of Jeongup local government water supply system." Korea Society of Civil Engineers 2007 Convention, 1128-1131.
- [4] Department of Defence(2012), Defence military facility standard, water supply facilities. pp. 3-24.
- [5] Department of Defence(2013), Manual of Water Saving Company(WASCO) project in military.
- [6] Department of Defence(2017), Military facility project management instruction. p. 43.
- [7] H. D. Lee, B. G. Yang, P. J. Kwak, J. E. Lee(2007), Strategical analysis of water revenue rate raising method in waterworks systems. Korea Society of Environmental Engineers, pp. 1054-1061.
- [8] H. D. Lee, C. H. Choi, J. M. Kang, J. Y. Kim, S. H. Park, M. S. Gong(2017), Technology plan to improve water flow rate in watersupply pipeline using big data. Korea Institute of Construction Technology, pp. 8-49.
- [9] H. D. Pyo, J. W. Choo(2014), "Estimating willingness-to-pay for the tap water quality improvement in Busan using contingent valuation method." Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 28(5):561-571.
- [10] I. H. Hyun, N. S. Park, H. Y. Kim, S. Y. Nam, C. I. Lee(2002), Analysis of provision for water revenue rate in local water service. Korean Society of Water & Wastewater, pp. 71-74.
- [11] J Combat Fighter Wing(2014-2020), Basic data for setting the amount of energy use plan.
- [12] J. H. Kim(2006), "An estimation of citizen's willingness-to-pay for the quality improvement of tap water in the Ulsan metropolitan area using cvm with a bouble-bounded choice model." Local Government Studies, 10(2):31-47.
- [13] Korea Development Institute(2008), General guidelines for conducting preliminary feasibility studies (5th ed).
- [14] Korea Water and Wastewater Works Association (2007), 2007 water and wastewater glossary.
- [15] M Command(2014-2020), Basic data for setting the amount of energy use plan.
- [16] M. H. Ryu, S. M. Kim(2011), "Social value of multi-regional water system." Water Policy & Economy, 18:18.
- [17] Ministry of Environment Press Release(2019), 2017 water supply statistics.
- [18] Ministry of Environment(2001), Study on improving water revenue rate.
- [19] National Assembly Environment and Labor Committee(2003), Study on measures to improve water revenue rate.
- [20] S. T. Ku, C. E. Kim(2013), "A study on planned maintenance methodology for equipment management innovation." Journal of Korea Management Engineers Society, 18(3):199-217.
- [21] Seoul City(2015), White paper on water revenue rate in Seoul. p. 39.

저자 소개

박 성 수



공군사관학교 항공공학과 학사
 연세대 전기전자공학부 학사 취득.
 현재 명지대학교 대학원 산업경영공학과 석박
 통합과정 중.
 관심분야: 상수도 시설 개선, 우수율 개선, 스마
 트 물관리, IoT, 전기시설개선, 지능형 전력망,
 태양광 발전, 공공요금, 에너지절약 등

김 창 은



고려대 산업경영공학과 학사
 TEXAS A&M 산업경영공학과 석사, 박사
 취득
 현 명지대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야: 경제성공학, 경영혁신, 6시그마,
 ERP 등