

소규모수도시설의 수질 및 운영관리 개선방안 연구(I)

여일규 · 강윤주 · 강귀화 · 최찬규 · 박현영 · 변시울 · 최현경

북부지원 먹는물검사와

A study on improving water quality and operation management of small-scale waterworks facilities(I)

I. K. Yeo, Y. J. Kang, K. H. Kang, C. K. Choi, H. Y. Park, S. Y. Byeon, H. K. Choi

Drinking Water Analysis Division, Northern Branch

Abstract

Small size water supply facilities means the small water facilities which supply less than 20m³ per a day and the village water facility which supplies 20~50m³ per a day. In Korea, Small size water supply facilities have been operated since 1970's to supply water efficiently to small counties for farming or fishing where water can not be supplied from the large water supply facilities in the major or local cities. In this research, we researched the status of operation for 220 small size water supply facilities which are using underground water as a source in the northern area of Gyeongbuk province. As a result, 71 facilities equivalent to 32% in total 220 facilities had failures which had shown higher numbers than the allowable values at one or more inspection items. There were 89 failures in total at 14 inspection items which included 26 failures at the inspection of total coliforms, 17 failures at the inspection of Nitrate Nitrogen(NO₃-N), 13 failures at the inspection of total colony counts, 10 failures at the inspection of arsenic, 7 failures at the inspection of fluoride, 4 failures at the inspection of manganese and so on. Most of facilities have only depended on the disinfection equipments so that it is hard to keep the good and same quality of water continuously because there are not enough professional people for maintenance and management. So, realistic solutions to manage the small size water supply facilities efficiently are required like systematic management through increasing professional people, adding the proper water treatment process to manage the failed inspection items and a real time monitoring system.

Key Words : small size water supply facility, water quality, operation management

1. 서 론

소규모수도시설은 주민이 공동으로 설치·관리하는 급수인구 100명 미만 또는 1일 공급량 20세제곱미터 미만인 소규모급수시설과 100명 이상 2천500명 이내의 급수인구에게 정수를 공급하는 일반수도로서 1일 공급량이 20세제곱미터 이상 500세제곱미터 미만인 마을상수도를 말하며, 국내에서는 1970년대부터 광역상수도 및 지방상수도가 보급되지 않은 농어촌 지역의 효율적인 급수방식으로 원수수질이 비교적 양호하고 경제적인 운영 및 처리가 가능하다는 이유로 도입되어 2020년 말 기준 전국적으로 약 12,900여 개소가 설치되어 운영되고 있다. 농어촌 지역의 주요 급수원으로 생활환경개선에 크게 기여하였으나, 현재 전국적으로 산재 분포되어 있어 정확한 집계와 체계적인 관리가 되지 않고 있으며, 지하수 또는 계곡수를 주요 수원으로 사용하므로 만성 물부족 및 수량 확보에 늘 어려움이 따르고 있는 실정이다. 또한 대부분의 시설이 설치

된지 20년 이상으로 노후화 되었으며, 마을 이장 등의 고령화된 비전문가의 관리, 불완전한 정수 처리 등 수질 악화 시 대부분 신속한 대처가 곤란한 상황이다. 이러한 이유로 소규모수도시설의 경우 매 분기 마다 정기검사를 실시하여 관리하고 있으나, 주민들의 건강에 위해를 끼칠 우려가 늘 존재하고 있다.

따라서 본 연구에서는 경상북도 북부지역내에 설치되어 운영되고 있는 소규모급수시설 및 마을상수도의 수질특성을 파악하고 연중 양호한 용수의 공급이 가능한 운영관리방안을 모색하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 경북북부지역 소규모수도시설 현황

경상북도 북부지역(11개 시군)의 소규모수도시설 현황을 살펴보면 2020년 기준 안동시 176개소, 영주시 128개소, 상주시 244개소, 문경시 109개소, 의성군 69개소, 청송군 128개소, 영양군

Table 1. Water supply status of small size water supply facility

region	Number of facilities	Capacity (ton/day)	person
Andong	176	10,766	9,914
Yeongju	128	18,503	8,474
Sangju	244	26,542	19,752
Mungyeong	109	5,914	4,000
Uiseong	69	2,760	3,172
Cheongsong	128	7,971	8,984
Yeongyang	38	558	1,540
Yeongdeok	39	816	1,837
Yecheon	119	12,230	5,060
Bonghwa	197	4,474	9,332
Uljin	118	5,537	8,572
계	1,365	90,671	80,637

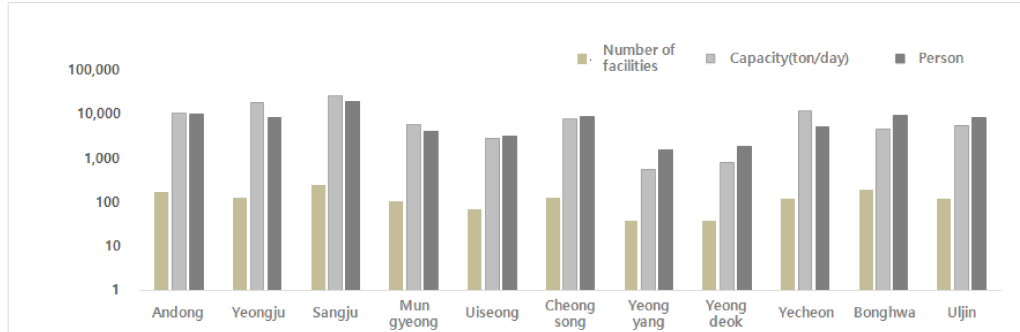


Fig. 1. Water supply status of small size water supply facility.

38개소, 영덕군 39개소, 예천군 119개소, 봉화군 197개소, 울진군 118개소로 총 시설수 1,365개소, 시설용량 90,671톤/일, 급수인구 80,637명이 현재 소규모수도시설을 통하여 수도를 공급받고 있다.

2.2. 대상지점 및 시료채취

경상북도 북부지역 중 봉화군 및 예천군을 대상으로 계절적 영향이 비교적 적은 지하수를 원수로 사용하는 시설을 시료채취지점으로 선정하였다. 해당시설들은 면, 리 단위로 넓게 분포되어

있었으며, 지점별 현황 및 위치를 아래의 표과 그림에 나타내었다.

봉화군의 경우 전체 197개 소규모 급수시설 중 지하수를 원수로 사용하는 시설은 141개소로 조사되었다. 읍, 면 단위로 살펴보면 법전면이 30개소로 가장 많이 분포하였으며, 명호면 29개소, 춘양면 22개소, 물야면 15개소, 재산면 13개소, 소천면 12개소, 상운면 10개소, 봉성면 6개소, 석포면 3개소, 봉화읍 1개소로 분포하였다. 봉화군의 소규모수도시설 급수인구는 대략 10,000명 정도로 전체 인구의 1/3이 소규모 급수시설을

Table 2. Status of study area (Bonghwa-gun)

No.	Myeon/Eup	Number of Ri	Number of facilities
1	Beopjeon	7	30
2	Myeongho	8	29
3	Chunyang	8	22
4	Murya	4	15
5	Jaesan	5	13
6	Socheon	7	12
7	Sangun	5	10
8	Bongseong	4	6
9	Seokpo	2	3
10	Bonghwa	1	1
Total		51	141

I . 연구사업

통하여 상수도를 공급받고 있으므로 소규모 수도 시설이 주요한 상수도 공급시설로 사용되어지고 있다. 전체 141개 시설 중 채수불가지역을 제외한 121개 시설에서 시료채취를 수행하였다.

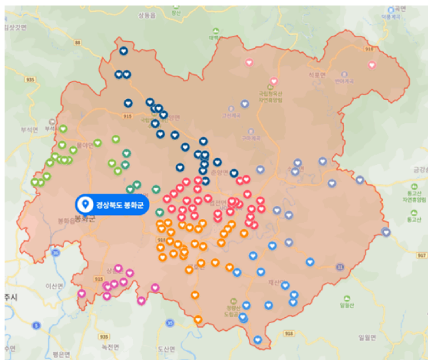


Fig. 2. Study area(Bonghwa-gun).

예천군의 경우 전체 119개 소규모 급수시설 중 지하수를 원수로 사용하는 시설은 113개소로 조사되었다. 읍, 면 단위로 살펴보면 효자면이 27개

소로 가장 많이 분포하였으며, 보문면 22개소, 은풍면 22개소, 용문면 16개소, 감천면 8개소, 유천면 5개소, 지보면 4개소, 풍양면 4개소, 용궁면, 호명면, 개포면 각 1개소, 예천읍 2개소로 분포하였다. 전체 113개 시설 중 채수불가지역을 제외한 99개 시설에서 시료채취를 수행하였다.

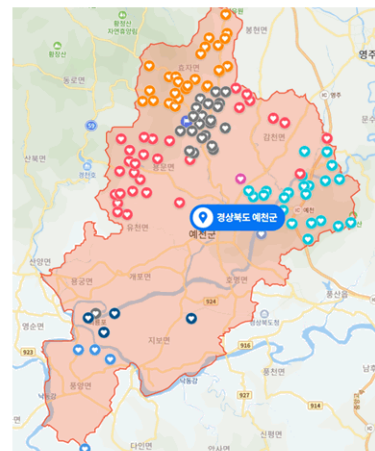


Fig. 3. study area(Yecheon-gun).

Table 3. Status of study area(Yecheon-gun)

No.	Myeon/Eup	Number of Ri	Number of facilities
1	Hyoja	9	27
2	Bomun	11	22
3	Eunpung	10	22
4	Yongmun	10	16
5	Gamcheon	5	8
6	Yucheon	5	5
7	Jibo	2	4
8	Pungyang	4	4
9	Yonggung	1	1
10	Homyeong	1	1
11	Gaepo	1	1
12	Yecheon	2	2
Total		61	113

2.3. 분석항목 및 분석방법

먹는물 수질기준 60개 항목을 대상으로 일반 세균 등 미생물 3항목, 납, 우라늄 등 건강상 유해 영양 무기물질 14개 항목, 페놀 등 건강상 유해영향 유기물질 17개 항목, 잔류염소 등 소독제 및 소독부산물질 11개 항목을 분석하였으며, 경도 등 심미적 영향물질 15항목을 분석하였으며, 이외 추가적으로 자연방사성물질인 라돈을 포함하여 61개 항목 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질분석 결과

연구대상지역의 소규모수도시설 중 지하수를 원수로 사용하는 220개소를 대상으로 먹는물수질기준 60개 항목 및 라돈을 분석한 결과 71개 시설에서 1개 항목 이상 부적합을 나타내었다.

3.1.1. 시·군별 부적합 현황

봉화군의 경우 121개 시설을 대상으로 시료채취 및 수질분석을 수행한 결과 48개 시설에서 1개 항목 이상 부적합을 나타내어 부적합률 약 40%로 확인되었다. 질산성질소 항목이 15건으로 가장 많았으며, 일반세균 10건, 총대장균군 12건 등 미생물 항목이 22건, 비소 10건, 불소 5건, 망간 3건, 색도 2건, 탁도 2건, 증발잔류물 2건, 우라늄, 납, 라돈이 각 1건으로 총 12개 항목 64건의 수질기준 부적합을 나타내었다. 또한 잔류염소의 검출율이 30%내외로 대부분 시설에서 소독관리가 미흡한 실정이었으며, 질산성질소의 부적합건수가 가장 많은 것으로 보아 농업용 비료 및 축산폐수 등에 의한 영향으로 판단된다. 봉화군 부적합 현황을 아래 그림에 나타내었다.

예천군의 경우 99개 시설을 대상으로 시료채취 및 수질분석을 수행한 결과 23개 시설에서 1개 항목 이상 부적합을 나타내어 부적합률 약 23%로 확인되었다. 총대장균군 14건, 일반세균

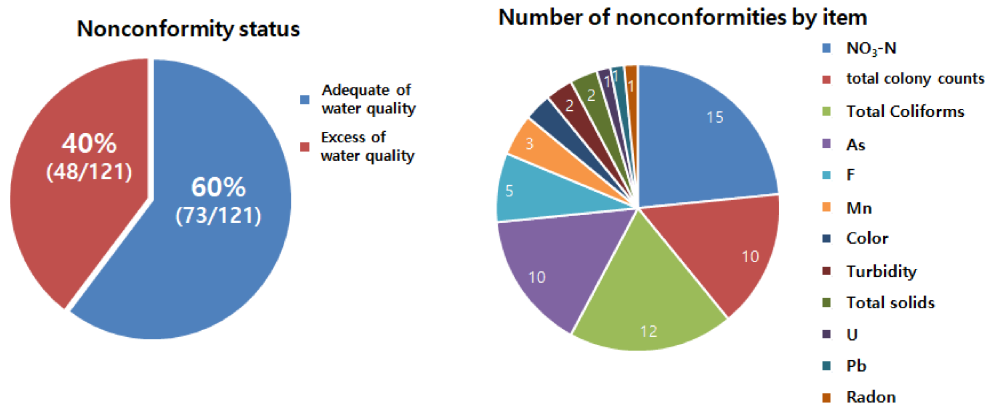


Fig. 4. Results of water quality analysis in Bonghwa-gun.

I . 연구사업

3건 등 미생물 항목이 17건으로 가장 많은 빈도를 나타냈으며, 불소 2건, 질산성질소 2건, 망간, 철, 납, pH 각 1건으로 총 8개항목 25건의 수질기준 부적합을 나타내었다. 예천군의 경우 소독시설 운영관리가 미흡한 시설에서 대부분 미생물 항목 부적합이 발생되었으며, 부적합 현황을 아래 그림에 나타내었다.

3.1.2 항목별 전체 부적합 현황

봉화군 및 예천군 220개 대상시설의 수질기준 항목별 분석결과 14개항목 89건의 수질기준 부적합을 나타냈으며 현황을 아래 표에 나타내었다.

전체 시설을 대상으로 살펴보면 총대장균군 26건 및 일반세균 13건으로 미생물 항목이 가장

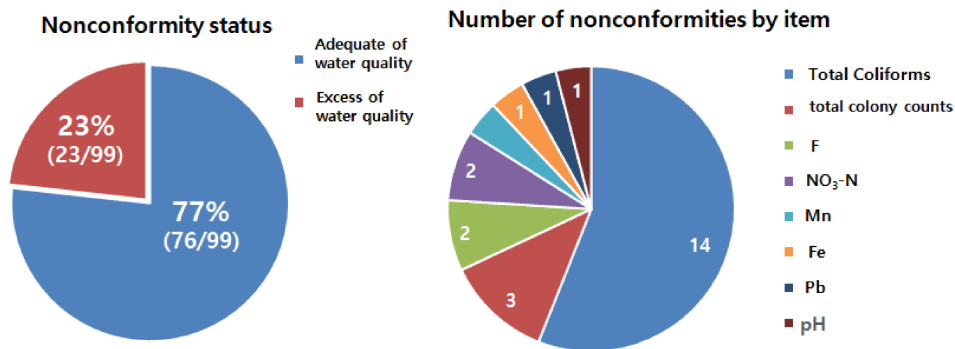


Fig. 5. Results of water quality analysis in Yecheon-gun.

Table 4. Nonconformity status of water quality standards

Item	water quality standards	Max.	Min.	Avg.	invalid rate
Total Coliforms	N.D/100ml	—	N.D.	—	11.8% (26/220)
NO ₃ -N (mg/l)	10	30.9	N.D.	3.6	7.7% (17/220)
total colony counts (cfu/ml)	100	20,000	N.D.	124	5.9% (13/220)
As (mg/l)	0.01	0.039	N.D.	0.002	4.5% (10/220)
F (mg/l)	1.5	2.11	N.D.	0.29	3.2% (7/220)
Mn (mg/l)	0.05	0.833	N.D.	0.006	1.8% (4/220)
Color	5	20	1	1	0.9% (2/220)
Turbidity (NTU)	1	6.12	0.04	0.19	0.9% (2/220)
Total solids (mg/l)	500	696	33	174	0.9% (2/220)
Pb (mg/l)	0.01	0.038	N.D.	0.0009	0.9% (2/220)
Fe (mg/l)	0.3	0.54	N.D.	0.015	0.45% (1/220)
U (mg/l)	0.03	0.0339	N.D.	0.0024	0.45% (1/220)
pH	5.5~8.5	8.6	6.1	74	0.45% (1/220)
Radon (Bq/l)	148	216.6	N.D.	17.9	0.45% (1/220)

많은 부적합 건수를 나타냈다. 대부분의 시설에서는 염소소독 약품을 지급받아 저류조에 일정량을 투입하거나, 고체염소 등을 망에 넣어 저류지에 투입하는 방식을 사용하고 있으므로 소독약품의 예상소진시기를 정확히 판별할 수 없는 실정이다. 따라서 자동염소투입기 등 효율적인 소독설비가 운영된다면, 미생물에 의한 수질 부적합 사례를 대부분 해결할 수 있을 것이다. 건강상 유해물질 중의 하나인 질산성질소의 경우는 17건으로 전체 항목 중 두 번째로 높은 빈도 부적합 건수를 나타냈으며, 기준치의 최대 3배 농도까지 검출되었다. 주요오염원으로 비료, 축산폐수 등이며, 질소화합물의 최종 생성물로 소독처리 만으로는 제거가 어려우므로 이온교환법, 역삼투법 등의 적절한 정수처리 설비 도입이 필요하다. 비소, 불소, 망간 항목의 경우에도 각각 10건, 7건, 4건의 부적합 건수를 나타냈으며, 망간의 경우 기준치의 최대 16.7배의 농도까지 검출되었다. 주로 지질학적인 영향이 많고 일반적인 정수처리로는 제거가 어려우므로 적절한 정수처리시설이 필요한 실정이다. 이 외 납, 철, 우라늄, 라돈 등의 항목은 대부분 검출되지 않았으나 일부 지역의 지질학적 특성 등에 의해 기준을 초과하는 지역이 있었으며, 원인파악을 통하여 해결방안을 모색하고 개선 후 추가적인 모니터링을 실시할 필요성이 있다. 상기 항목 외 다른 항목들은 모두 수질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 운영관리 개선방안 검토

소규모수도시설을 보다 효율적으로 운영하기 위해서는 산재분포 되어 있는 각 시설을 통합

적으로 관리할 수 있고, 실시간 감시 및 제어가 가능한 시스템 등의 도입이 필요하므로 현재 시범적으로 운영되고 있는 관리방법을 조사하여 운영관리 개선방안에 대한 검토를 수행하였다.

3.2.1 분산형 용수공급 시스템

분산형 용수공급 시스템은 대규모 정수장에서 수도관을 통해 인구밀집 지역에 물공급을 집중하는 일반적인 정수시설과는 다른 대상지역의 지리적 특성과 물 수요량에 맞추어 모규모 정수시설을 분산하여 조성하는 방식이다. 이러한 시스템의 경우 현재 읍·면 단위마다 수십여개 분포되어 있는 소규모 수도시설을 각각 하나의 분산형 시스템으로 통합하여 관리할 수 있으며, 무인 원격으로 운영되는 고도-표준화된 정수시설을 통해 양질의 수돗물을 공급할 수 있다. 현재 한국수자원공사와 양평군, 인제군, 영동군, 김천시가 물관리 취약지역 주민들의 물복지 향상을 위한 분산형 용수공급시스템 구축 시범사업 협약이 체결되어 사업이 진행 중에 있다. 해당 시스템의 도입을 통하여 급수취약지역에 수량과 수질의 제약없이 양질의 수돗물 공급 가능성이 가능하며, 가뭄 등의 자연재해 시에도 안정적인 생활용수 확보와 수원오염에 따른 효율적인 수처리가 가능할 것으로 기대된다.

3.2.2 소규모수도시설 통합관리 시스템

소규모수도시설 통합관리 시스템은 체계적인 관리를 위하여 계측제어설비를 설치하고 무인/원격 감시하는 시스템으로 수질, 수위, 유량, 외부침입 상태 등 실시간 원격감시 및 신속 대응이

가능하며, 소독약품 잔량 및 소진시기를 사전에 통보하여 사전대응이 가능하므로 연중 양호한 수질의 용수공급이 가능한 무인 자동 시스템이다. 또한 통합관리센터 구축을 통하여 전체 시설현황에 대한 모니터링이 가능하며, 업무효율 향상 및 운영관리예산 절감이 기대되며, 수질기준 초과 및 비상상황에 대하여 즉각 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 현재 강진군 34개 마을 및 남원시 43개 마을에 설치되어 지속적으로 안정적인 운영이 가능하다면 소규모수도시설을 보다 효율적이고 안정적으로 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

경상북도 북부지역 중 봉화군 및 예천군 소재의 지하수를 원수로 사용하고 있는 소규모 수도시설을 조사한 결과 결론은 다음과 같다.

연구대상지역 220개 소규모수도시설 중 71개소(약 32%)에서 1개항목 이상 수질기준 부적합을 나타내었으며, 이중 봉화군은 121개소 중 48개소, 예천군은 99개소 중 23개소에서 1개이상 항목 수질기준 부적합을 나타내었다.

부적합 항목별로는 총대장균군 및 일반세균 등의 미생물 항목이 39건으로 가장 높은 빈도를 나타냈으며, 질산성질소 17건 등 총 14개 항목에서 89건의 수질기준 부적합을 나타내었다. 미생물 항목의 경우 대부분 미흡한 소독처리로 발생되므로 소독설비의 개선으로 수질회복이 가능하나 질산성질소 및 중금속 항목 등은 일반처리공정으로는 수질개선이 어려우므로 각 항목별 적절한 수처리설비의 도입이 필요한 실정이다.

소규모 급수시설의 운영관리 개선을 위해서는 현재 시범적으로 운영되고 있는 분산형 용수시스템 및 통합관리 시스템 구축을 통하여 산재분포되어있는 소규모수도시설을 통합관리 하고, 기준초과 항목들에 대한 맞춤형 수처리공정과 실시간 감시제어를 통한 자연재난으로 인한 용수부족, 정수처리과정, 시설보안 등 비상상황 발생에 선제적 대응이 필요하다. 또한 실시간 수질측정 및 개별시설의 일괄 모니터링이 가능하도록 구축하여 일원화된 수질관리의 실현이 필요하다.

향후 지속적으로 경북전역의 소규모 급수시설을 조사하여 전반적인 현황파악을 수행할 예정이며, 수질특성을 분석하여 시군별 데이터 데리스 구축 및 정수처리시설 도입 등 수질개선에 필요한 기초자료로 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 국가상수도정보시스템(2022). <https://www.waternow.go.kr>.
2. 환경부, 상수도통계, 2020.
3. 김봉기, 조갑제, 김시영, “부산지역 소규모 수도시설 수질특성 연구”, 부산광역시보건환경연구원보, pp.91~109(2012).
4. 조정호, 윤혜정, 강대신, 김균희, 박정신, “간이상수도원수의 안전성에 관한 조사”, 울산광역시 보건환경연구원보 2, pp.131~173(2003).
5. 강진홍, 박현건, “마을상수도 및 소규모급수시설 수질의 통계적 분석에 관한 고찰”, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동학술발표회 논문집, pp.104(2012).

6. 김홍태, 김경호, “소규모 수도시설의 효율적 개선방안에 관한 연구”, 한국수처리학회지, pp.65~76 (2007).
7. 환경부, 소규모수도시설 운영관리 표준매뉴얼, 2015.
8. 김영일, “충청남도 물 복지 향상을 위한 소규모 수도시설의 효율적인 운영-관리방안”, 열린충남 여름, pp35~43(2013).
9. 국립환경과학원, 소규모 수도시설 등 급수취약 지역 먹는물 수질개선 방안 연구, 2013.
10. 충남발전연구원, “충청남도 소규모 수도시설의 운영실태 및 관리방안”, 2008.

