국가수위관측망의 개념정립과 구축방법에 관한 연구

A Study on Concept and Establish Method of National Water Level Network

장복진* / 김치영 ** / 정성원 ***/ 이재형 ****

Jang, Bok Jin* / Jung, Sung Won** /Jung, Sung Won***/Lee, Jae Hyung****

요 지

물에 대한 중요성은 인구가 많아지고 산업이 발전됨에 따라 계속 높아지고 있으며, 이와 더불어 국민이나 기관 및 국가가 필요로 하는 지점에 충분한 품질을 가진 수문기초자료에 대한 수요 역시 지속적으로 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 국가차원에서 홍수 예보, 수자원 공급과 관리계획, 생태 및 환경 등의 목적을 위한 국가수위관측망을 구축하여 그 근간자료가 되는 하천 수위(또는 수위-유량 자료)자료를 제공함으로써 불필요한 수문조사 중복 등을 방지하고 효율적인 수문조사의 기반을 구축하고자 하는 것이다.

수위관측망 설계는 원하는 목적에 따라 수집된 수문자료의 경제적 가치를 최대화 하는 것이 기본이지만 이러한 방법론은 실제적으로 거의 드물다. 오히려 수문자료의 경제적 가치 최대화를 위한 관측망보다 경제적 관측망 구축을 위한 방법론을 개발하거나 선택하는 것이 보통이다. 본 연구에서는 국내와 일본, USGS(미지질조사국)와 WMO(세계기상기구) 등의 선진국에서의 수문관측망 구축 사례와 이론을 먼저 검토하고, 국가수위관측망으로서의 목적과 구축방법을 마련하였다. 우리나라는 이미 전 국토에 걸쳐 여러 목적의 수위관측소들이 설치되어 있으므로, 국가수위관측망으로서 관리와 자료제공이 가능한 수위관측소를 대상으로 현황 및 현장조사를 실시하고, 기존 관측망에 대한 수리·수문학적, 사회·경제적 중요성 검토 등의 과정을 통해 국가수위관측망으로 재설계할 수 있도록 하였다.

본 연구를 통해 우리나라에서 처음으로 국가차원의 수위관측망을 구축할 수 있게 되었으며, 이 후 국가수위관측망의 실제 구축 및 국가수위관측망의 운영방안 등의 연구를 지속하여 신뢰할 수 있고 공간적으로도 충분한 전국 하천의 수위자료를 제공할 수 있도록 할 예정이다.

핵심용어 : 국가수위관측망, 관측망 설계, 관측망 구축방법, 수위관측소, 관측망 재설계

1. 서 론

수문조사는 수자원 이용, 홍수피해 방지, 수질관리 등을 위해 하천 수위, 유량, 유사량, 토양수분 및 증발산량 등을 측정하는 것으로 수자원계획 및 관리에 있어서 가장 기본적이고 중요한 자료를 생성하는 것이다. 따라서 수문조사 자료의 품질을 높이는 것은 국가 수문조사사업의 중요현안이며, 이를 위해 국토해양부에서는 수문조사 투자의 확대, 기준의 강화, 방법의 표준화 등의 노력을

* 정회원 · 유량조사사업단 품질정책실 그룹장, 공학박사 · E-mail : bj@hsc.re.kr
** 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 실장 · E-mail : cy_kim@hsc.re.kr
*** 정회원 · 유량조사사업단 단장, 공학박사 · E-mail : swjung@hsc.re.kr
**** 정회원 · 국토해양부 하천운영과 시설사무관 · E-mail : scpnara@korea.kr

꾸준히 기울여 왔다.

수문자료의 가치는 그 품질과 활용도에 달려있다. 수문자료의 질적 향상과 활용도를 높이기 위해서는 생산되는 수문자료의 품질이 우선 향상되어야 하지만, 사용자가 필요로 하는 지점에 수문자료가 존재해야 한다. 또한 국내 수문관측소는 각 부처 또는 기관별 필요 및 목적에 따라 설치 및 운영하고 있어 수문자료 역시 일부 지역에 편중되어 있거나 관련 예산중복투자 등 효율적인 수문조사에 어려움이 있었다. 이에 국내 수문조사를 실시 또는 필요로 하는 기관과 정부 부처간 예산 중복투자를 방지하고, 생산되는 수문자료의 활용성을 극대화하기 위해서 국가차원의 전국토를 대상으로 하는 최적화된 국가 기본 수문관측망을 구축・운영 할 필요가 있다.

이를 위해 국토해양부에서는 이미 유량관측소에 대해 전국토를 대상으로 하는 국가유량측정망을 구축하였으나 현재 유량을 제외한 수위, 자동유량 측정시설, 유사량, 증발산량, 토양수분량 등에 대한 관측망은 초기단계의 계획으로서 정확하고 구체적인 전국의 최적 관측망이 구축되지 않아 효율적인 수문조사 계획 및 조사시설 신설 등이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 국가차원에서 홍수 예보, 수자원 공급과 관리계획, 생태 및 환경 등의 목적을 위한 국가수위관측망 구축을 위한 개념정립과 구축방법론을 제시하였다.

2. 국내외 수문관측망 설계 기법

1960년대까지 수문관측망 설계는 수문 관련 업무 종사자, 학자들 사이에서 관심 대상이 아니었으나 이후 수자원 계획, 설계, 운영 사업과 관련하여 수문자료의 필요성과 활용성이 극대화됨에 따라 1960년대 말부터 수년 간 대규모의 수문관측망 설계 분야에 있어서 많은 발전이 있었다 (WMO, 1982).

수문자료를 수자원 계획, 설계, 운영 사업에 두루 활용하기 위해서는 운영 및 기술 측면이 모두 고려된 관측망이 필요하고 적절한 비용으로 유용한 정보를 얻을 수 있어야 한다. 이를 위한 수문관측망 설계 기법으로는 사회-경제적 분석, 확률 이론, 표본 추출과 최적화 이론, 상관성 분석, 회귀분석, 베이시언(Bayesian) 분석 등 다양한 분석 방법이 복합적으로 고려되어 설계에 활용되어진다. 이러한 기법들은 더욱 구체적으로 수문학적 또는 사회학적 불확실성을 줄이기 위한 기법들(Karasev 기법, 최적 보간법, MIT 연구 결과, Kriging 기법, 폐쇄 관측소 선택 기법, NARI(Network Analysis for Regional Information) 기법, 정방형 격자 기법, 지형적 최적 기법 등)이 있다.

WMO에서는 이러한 수문관측망 구축기법에 관하여 기본 개념을 정리하여 제시하고 있으며, 적정 관측망 구축기법의 부재시 그 지역 특성에 따라 최소관측망 밀도를 제시하고 있다. 그리고 USGS에서는 3차에 걸쳐 “Stream-Gauging Program”을 수행하였으며 이를 통해 수문관측망 설계, 관측소 등급화와 차별화, 비용과 효과를 고려한 수문관측망 운영 방안 수립에 중점을 두었다. 또한 차세대 국가 유수정보 프로그램 NSIP(National Streamflow Information Program)이라고 하는 국가수문관측망을 위한 위원회를 개최하고, 국가 수문관측소의 설계와 운영 등에 대한 전반적인 권고사항을 정리하였다. 일본의 경우, 수위관측소 관측망에 대해서는 “수위관측소의 배치”에 관련한 기준으로 간략히 소개한 정도이며, 국내도 관련 기준은 이와 크게 다르지 않지만 2006년에서 2007년에 걸쳐 국토해양부에서는 전국토를 대상으로 하는 국가유량측정망을 구축하였다.

3. 최적 수문관측망의 설계

3.1 최적 수문관측망의 설계 개념

일반적으로 수문관측망의 설계는 관측이 필요한 최소한의 지리적 위치만을 정하는 것으로 알고 있다. 그러나 수문관측망의 설계라 함은 관측이 필요한 수문학적 변수, 관측이 필요한 위치, 관측을 수행하는 주기, 관측의 총 기간, 필요한 정확도, 이 5가지를 제시하는 것이다. 또한 수문관측망의 이상적인 설계는 수집된 수문자료의 경제적 가치를 최대화 하는 것이다(WMO, 1982). 그러나 현재 수문관측망 설계는 수문자료의 경제적 가치 최대화 보다는 수문현상을 이해하고, 해석하는데 최소한의 관측망을 구축하고자하는 경제적인 관점에 중심을 두고 있는 것이 일반적인 현실이다. 국가적으로 최소한의 관측망은 그 나라의 경제적 발전 수준에 맞춰 수자원 개발과 관리를 심각한 결함을 피하게 하는 수준이 될것이다. 본 연구에서 국가수위관측망은 개념적으로 이러한 경제적인 관점을 배제하고 목적에 부합하는 최적 수문관측망 설계에 초점을 맞추었다.

3.2 수문관측망 설계 기본 방법론

WMO(1982)에서는 수문관측망 설계 방법론을 Fig.1과 같은 블록 개념도로 해석하였다. 먼저, 수문관측망 설계에서 가장 기초가 되어야 하는 것은 수문학에 대한 이해이다. 알고자 하는 수문현상과 생산해야할 수문자료에 대한 복합적인 관계를 이해하지 않고서는 수문관측망의 목적에 맞는 설계는 있을 수 없다. 수문학에 대한 이해만으로도 수문관측망은 충분히 설계할 수 있으며 이러한 설계는 먼저 언급한 이상적인 수문관측망 설계에 근접할 수 있을 것이다. 그러나 수문학적 기반의 관측망은 명확히 제시할 수 없는 불확실성이 항상 존재하며, 관측망의 정보가 가지는 사회·경제적 가치를 고려하지는 못하므로 수문학적 불확실성에 대처하기 위한 정량적인 방법들과 사회·경제적 분석을 통한 수문자료의 궁극적인 가치실현의 효율화가 필요하다. 또한 관측망 설계는 앞서 설명한 요소들로 이루어진 방법론이 존재할 수 있으며, 때로는 적정한 방법이 존재하지 않거나 비효율적일 수도 있다. 이러한 경우 최적화 이론은 망 설계를 위한 최적 판단을 위한 기본 틀이다. 최상위의 의사결정 이론은 이와 같은 망 설계 요소들을 통합하기 위한 사무적인 절차로서 여러 상황에 따라 설계 기법을 선택하거나 그 대안을 만들 수도 있으며, 최종 결정에 영향을 미칠 수 있는 것에 대하여 미리 파악함으로써 합리적이고 효율적인 관측망 설계를 할 수 있다.

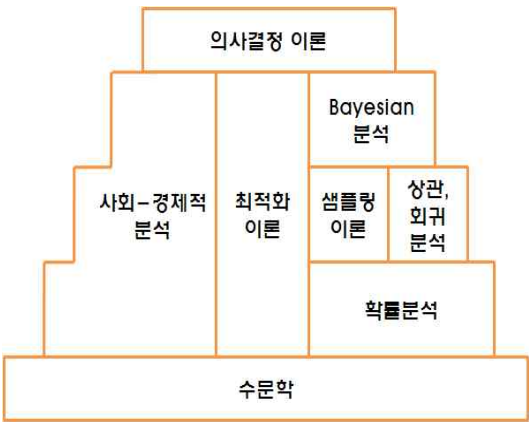

Fig.1 The basic building blocks of network design(WMO, 1982)

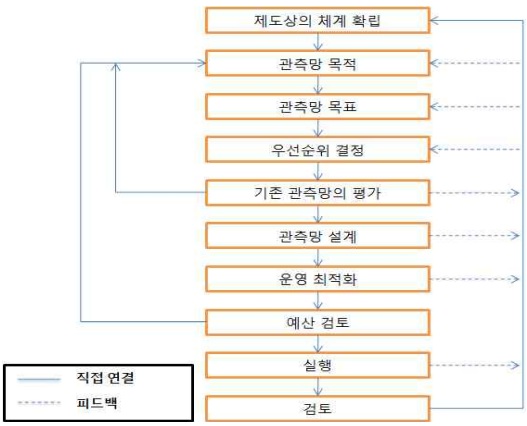

Fig.2 A framework for network analysis and redesign(WMO,1994)

3.3 기존 수문관측망의 재설계 기법

우리나라는 이미 전 국토에 걸쳐 여러 목적의 수위관측소들이 설치되어 있으므로, 국가수위관측

망으로서 관리와 자료제공이 가능한 수위관측소를 대상으로 재설계할 필요가 있다. WMO(1994)에서는 기존 수문관측소의 검토와 재설계 수행에 있어서 수행해야 할 단계별 과정을 설명하고 있다(Fig.2).

재설계의 첫단계는 제도상의 체계확립이다. 역할과 목적이 법적인 측면을 포함하여 제도상의 체계가 확립이 되어야 관측망 조정과 통합설계가 가능해질 것이다. 우리나라에서는 하천법에서 수문조사에 통합관리를 위한 체계적 기틀이 확립되어 있다. 또한 설계하고자 하는 수문관측망의 사용자와 사용용도에 대한 목적을 명확히 해야 하며 이에 근거하여 세부적인 목표항목과 필요한 정보항목을 파악하여야 한다. 만일 하나이상의 목표가 있다면 예산적인 문제를 고려하여 우선순위를 결정할 필요가 있다. 다음으로는 설계범위에 있는 기존 관측망의 현황을 파악하고 어떠한 목표를 충족할 수 있고 어떤 정보를 제공할 수 있는지 기존 관측망을 평가하는 것이 필요하다. 관측망 목표와 활용 가능한 정보에 따라 가장 적정한 수문관측망 설계방법론을 적용하여야 한다. 이 방법론은 앞서 기술한 관측망 설계개념에 따라 수문학적 이해가 바탕이 되어 다양한 수학적, 사회・경제적 분석 방법이 추가될 수 있다. 관측망 설계는 운영과정에서의 자료수집 비용을 고려한 운영최적화가 필요하며 결정된 관측망과 운영방법에 근거하여 운영비용과 예산을 비교하여 검토하는 것이 필요하다. 만일 예산이 부족한 경우에는 추가예산을 획득하거나 상기 검토항목인 목표와 우선순위 등을 다시 검토하여 비용을 감소하는 방안을 마련해야 한다. 예산검토가 끝나면 관측망의 설계는 장단기 계획범위를 포함한 조직적인 수단으로 운영되어야 하며 장기적으로 운영하면서 상기 검토사항들이 시간에 따라 변동성이 있으므로 지속적으로 검토할 필요가 있다.

4. 국가수위관측망 개념과 구축기법

4.1 국가수위관측망의 개념

4.1.1 정의

국가수위관측망은 국민과 각 관련기관 및 국가의 이수, 치수, 환경 분야의 수자원 기초자료 활용과 수문조사의 효율적 운영 및 관리를 위하여 우리나라 하천의 수리・수문학적, 사회・경제적 중요지점의 수위(또는 수위-유량)자료를 수집하여 제공하는 국가차원의 기본 수위관측망이다.

4.1.2 목적 및 목표

국가수위관측망에서 수집되고 제공되는 자료는 Table 1과 같이 8가지 목적에 맞는 기초수문자료를 제공하는 목표를 가진다.

4.1.3 기본운영원칙

국가망에서 수집된 자료는 매년 한국수문조사연보에 수록되어야 하며, 기타 인터넷 등으로 배포하는 국토해양부의 공식 수문자료로 활용한다. 또한 국가망에 포함된 수위관측소는 지속적으로 영구히 운영함을 원칙으로 하고, 향후 마련될 별도의 국가수위관측망 운영방안에 의해 관리되고 운영되어야 한다.

4.1.4 구축범위

국가수위관측망은 전국토를 대상으로 하며 이미 구축된 국가유량측정망을 기본적으로 포함하고 그 외에 국가수위관측망으로서 자료생산과 제공이 가능한 국토해양부(4대강 홍수통제소 및 한국수자원공사) 수위관측소, 한국수력원자력, 한국농어촌공사의 수위관측소, 환경부의 오염총량제 실

시지점, 수질관련 수위(또는 수위-유량) 관측소, 지자체(소방방재청, 2008년 집계자료) 등 약 990개소에 이르는 기존 관측소를 검토하여 국가수위관측망을 설계한다.

Table 1. The purpose of the National water level network in Korea

목 적	목표 및 제공자료
홍수예보	국민과 공공의 홍수피해저감을 위한 홍수예보의 기초자료로서의 하천수위 또는 유량정보의 제공
수자원 공급과 관리 계획	농업, 공업 등 산업분야의 수자원 사용자와 관리자가 효율적인 운영계획을 수립할 수 있는 하천수위와 유량정보의 제공
생태 및 환경	하천주변과 하천 내에서의 생태계 환경변화와 수질개선 및 관리 등 환경분야에서의 기초자료로서 하천수위 또는 유량정보의 제공
수문설계 및 계획	수문구조물의 설계, 홍수방재시설의 설계, 중장기 유역개발 계획 등의 수문학적 기초자료로서의 하천수위 또는 유량정보의 제공
수자원 갈등 해소	수자원 할당과 배분에 관련한 업무를 지원할 수 있는 신뢰할 수 있고 객관적인 중요지점의 하천수위와 유량정보의 제공
방재	도시침수, 댐 방류에 의한 홍수 등 기타 재난저감 및 관리를 위한 방재목적의 중요지점에서의 하천수위정보 제공
수리·수문분야와 수자원 관련 연구지원	수리·수문분야와 기타 수자원 관련 연구의 기초자료로서 활용 가능한 하천수위 또는 유량정보의 제공
기타 국민여가생활 지원	국민의 하천주변과 하천 내에서의 여가활동에 참고할 수 있는 하천수위정보의 제공

4.2 국가수위관측망의 구축방법

4.2.1 구축과정

국가수위관측망을 구축과정은 Fig 3의 공정도에 따라 진행된다. 앞서 설명한 국가수위관측망의 목적과 목표를 결정한 후 구축범위의 기존 관측망에 대하여 검토가 가능하도록 현황 및 현장조사를 실시한다. 현황조사가 완료되면 기존관측망을 검토해야 하는데 여기서는 수문학적, 사회·경제적 검토 및 중요성 평가가 이루어진다. 이러한 검토 및 평가 후 국가수위관측망으로서 적합지점, 관측망 조정지점(또는 보조관측소 신설지점), 폐쇄 권고 지점 등으로 잠정 위치를 결정하게 된다. 잠정위치들은 각 수문조사 및 관련기관의 중장기 계획을 검토하여 중복투자 및 효율적 수문관측이 이루어지도록 유도한다. 조사 및 검토할 중장기 계획으로는 수문조사선진화5개년계획, “4대강 살리기사업” 구간내 수위관측소 변경 내용, 기타 수문조사기관별 중장기 계획 등이 있다. 결정된 잠정 위치에 대한 계획상 검토까지 마치게 되면 1차적으로 국가수위관측망(안)이 완성된다. 완성된 국가수위관측망(안)은 신설대상 지점 등 추가현장조사와 관련기관 협의를 통해 구축(안)을 확정 할 필요가 있다. 협의가 완료되면 국가수위관측망의 구축이 확정되며, 후속조치로서 국가수위관측망에서 생산되는 수문자료의 신뢰도를 확보하기 위한 최적 통합 운영방안, 연차별 신설 및 폐쇄 계획의 추진 그리고 관측주기와 유지관리 등을 포함하는 국가수위관측망 관측소의 운영방안에 따라 국가수위관측망을 운영하게 된다.

Fig.3 The framework for a National water level network of Korea

4.2.2 기존 관측망 검토 방법

기존 관측망의 검토 방법은 USGS의 국가수위관측망 평가방법과 국내의 국가유량측정망에서의 평가방법을 일부 참조하여 우리나라의 국가수위관측망의 수문학적 중요성과 사회·경제적 중요성을 검토하는 지표를 작성하였다(Table 3). 수문학적 중요성 검토항목 중 기존관측소의 목적을 판단하여야 하는데 기존 관측망의 목적은 치수, 이수, 환경으로 구분하고 Table 2와 같이 치수의 경우, 홍수예보, 홍수 통제시설 및 방재 목적으로 운영되는 수위관측소를 치수 목적의 수위관측소로 구분하였다. 이수의 경우, 수자원 관리 및 공급과 수리권 갈등 요소가 포함되는 수위관측소를 이수 목적의 수위관측소로 분류하고 환경은 오염총량제 실시지점 등 수질 관측 목적으로 활용될 수 있는 수위관측소로 분류하였다.

Table 2. A Criterion for the purpose of existing hydrological stations

목 적	목 표	관측 지점
치수	홍수예보	• 홍수예보지점 • 홍수예보모형 계산지점 • 상기 주요 수위관측소의 보조 또는 이중화 지점
	홍수 통제시설	• 홍수조절기능을 가진 댐 또는 저수지, 대형보 수위관측지점
	방재(재난관리) 목적	• 국가 간 댐 방류 영향지점 • 교량침수, 상습침수지역 등 재난관리 목적 중요지점
이수	수자원 관리 및 공급	• 유지유량 고시지점 • 중권역 출구 지점
	수리권 갈등	• 광역시·도 경계 지점
환경	수질 등	• 오염총량제 실시지점

수문학적 중요성은 기여유역규모, 자료의 축적기간 및 관측소 운영목적으로 그 중요성을 평가하였으며, 사회·경제적 중요성은 인구밀도, 하천수 사용허가량, 수자원 현안문제 및 역사·문화적 중요성을 포함하였다. 각각에 대한 세부내용 및 설명은 Table 3과 같다.

Table 3. A Criterion for the hydrological and social-econmic importance of existing stations

구 분	검토항목	내 용
수문학적 중요성	기여유역규모	• 해당관측소의 유역면적에서 최인근 상류관측소의 유역면적을 배재한 면적
	자료의 축적기간	• 관측개시일부터 계산한 자료축적기간
	관측소 운영목적	• 이수, 치수, 환경 목적 구분
사회, 경제적 중요성	인구밀도	• 해당지점의 기여유역이 속한 행정구역(읍면동)의 인구밀도
	하천수 사용허가량	• 하천수사용실적관리시스템에서의 해당관측소와 최인근 상류 관측소 사이의 하천수사용 허가량
	수자원 현안문제	• 지점의 위치가 광역시, 도간 경계, 시, 군 경계, 기타로 표시
	역사, 문화적 중요성	• 관측소가 역사적으로 오래된 지점인지 또는 관측소 외관 및 접근성에서 교육적 견학 등의 가치가 있는지 판단

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 WMO, USGS 등 선진국의 사례와 국내외 수문관측망 구축 선행연구결과 등을 검토하여 전국의 기존 관측망을 검토하고 재설계하는 국가수문관측망 구축을 위한 기법을 마련하였다. 이 과정에서 국가수위관측망의 정의, 목적 및 목표 등 국가망으로서의 개념도 정립하여 제시하였다.

WMO의 관측망 설계 개념과 USGS 및 국내 관측망 평가기법을 확장·도입한 국가수위관측망 구축기법은 국가차원의 대규모 관측망을 설계하는데 시범적인 사례로서 가치가 있을 뿐 아니라 기존의 일반적으로 최소비용을 고려하는 경제적 관측망 설계기법이 아니라 목적 구현을 위해 수문자료의 가치를 최대화하기 위한 관측망 설계기법으로서 좋은 사례가 될 것으로 기대된다. 또한 본 연구의 결과를 이용하여 우리나라에서 처음으로 국가차원의 수위관측망을 구축할 수 있게 되었으며, 이 후 국가수위관측망의 실제 구축 및 국가수위관측망의 운영방안 등의 연구를 지속하여 신뢰할 수 있고 공간적으로도 충분한 전국 하천의 수위자료를 제공할 수 있도록 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 연구용역(“국가수문관측망구축 1차년도 연구(2009)”)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2007). 국가 유량측정망 구축 연구. 건설교통부
2. 한국수자원학회(2005). 하천설계기준·해설. 건설교통부
3. 건설교통부 수자원국(2004). 수문관측매뉴얼
4. The National Streamflow Information Program Committee(2004). Design of a National Streamflow Information Program Report with Recommendations of a Committee. U.S. Geological Survey Open File Report 2004-1263
5. WMO(1994). Guide to Hydrological Practices Fifth edition
6. Wahl, K.L., Thomas, W.O., Jr., and Hirsch, R.M.(1995). Stream-gaging program of the U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Circular 1123.
7. WMO(1982). Concepts and Techniques in Hydrological Network Design
8. WMO(1974). Hydrological Network Design and Information Transfer