로지스틱 회귀분석을 이용한 유량관측소의 관리등급 결정방안 제시

Decision Pan of Maintenance Criteria for the Discharge Station using Logistic Regression Analysis

이지호* · 천정환** · 전환돈***

Lee, Ji Ho*, Chun, Jung Hwan**, and Jun, Hwan Don***

Abstract

In this study, we selected the discharge stations with a high probability of error occurrence using a logistic regression model, and evaluated the appropriateness of the evaluation level of the discharge station proposed by MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) through the case analysis of the maintenance. As a result, among the class A stations proposed by MOLIT, stations occurred frequent errors in the regression model and case analysis of the maintenance are Janghowon, Heungcheon, Bupyeong station. Therefore, this discharge stations are considered to be a station where the adjustment of evaluation level of MOLIT is needed. The purpose of this study is to produce more stable observation data by priority stations selection and managing maintenance to cope with increasing number of discharge stations with limited manpower and equipment.

Key words : Discharge Stations, Optimal Maintenance Planning, Logistic Regression Model, Maintenance Criteria

요 지

본 연구에서는 로지스틱 회귀모형을 통해 오류발생 가능성이 큰 유량관측소를 선별하고, 유지관리 사례분석을 통해 국토교통부에서 제시한 유량관측소의 관리등급의 적정성을 검토하였다. 그 결과, 국토교통부에서 제시한 관리등급 A 관측소중 회귀모형과 실제 수위유지관리시 잦은 오류가 발생된 지점은 장호원 지점, 흥천 지점, 부평 지점으로 평가되었다. 따라서 본 관측소는 관리등급의 조정이 필요한 지점으로 판단된다. 본 연구에서는 한정된 인력과 장비로 매년 증가하는 수위관측소에 대응하기 위해 회귀모형을 통해 유지관리 지점을 선정하여 보다 안정적인 관측자료 생산하는데 목적이 있다.

핵심용어 : 유량관측소, 최적유지관리, 로지스틱 회귀분석, 관리등급

1. 서 론

국내의 수문관측은 1441년의 측우기 발명으로부터 시작하였으며, 근대적인 수문조사는 일제강점기부터 시작되어 현재에 이르고 있다(MOLIT, 2013). 과거의 수자원정책은 치수에 치중되어 있어 수문관측소를 홍수예보 목적으로 활용하였다. 현재는 이수적 측면 및 환경적 측면의 중요성이 요구되어 보다 체계적인 수문관측이 필요하다. 국내의 지형

학적 특성은 국토의 70% 정도가 산악지형으로 형성되어 있어 산악지형 특성과 섬 지형의 특성을 보이고 있다(Lee et al., 2017). 더욱이 기상 이변으로 인해 국지성호우 및 가뭄발생이 빈번하여 국가수문계획을 수립하는데 있어 보다 정밀한 기초수문자료의 축적이 중요하다.

수자원을 효율적으로 계획 및 관리하는 일은 국가적인 차원에서 매우 중요하다 할 수 있다. 특히 신뢰성 있는 수문자료는 치수·이수적 측면인 수공구조물 설계에 반드시

*정회원, 서울과학기술대학교 공학대학 건설시스템공학과 연구교수(E-mail: kjihito@seoultech.ac.kr)

Member, Research Professor, Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Civil Engineering

**유량조사사업단(E-mail: sg80942@hsc.re.kr)

Hydrological survey center

***교신저자, 정회원, 서울과학기술대학교 공학대학 건설시스템공학과 부교수(Tel: +82-2-970-6570, Fax: +82-2-948-0043, E-mail: hwjun@seoultech.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Civil Engineering

시 필요하다. 그동안의 수문자료는 여러 기관에서 관측하여 체계적인 자료축적 되지 못하여 그 활용도가 제한적이었다. 또한 수문조사 종사자의 잦은 교체와 장비 부족 등으로 자료 품질에도 많은 문제점을 안고 있다. 강우, 유출, 증발산 등과 같이 시공간적으로 변동이 심하고 무작위성이 큰 수문현상을 정확하게 관측하거나 규명하는 것은 현실적으로 어렵다(Chun, 2015). 따라서 주요 지점에 관측소를 배치하여 지속적으로 운영함으로써 지점별 수문량을 파악하고 이를 시공간적으로 확장하여 이용하는 것이 일반적이다(MOLIT, 2011).

지점별 수문량에는 다양한 관측오차를 포함하고 있다. 오차를 발생시키는 대표적인 원인으로는 관측소 주변 여건 변화, 관측시설의 유지관리 상태, 관측장비의 오작동으로 인한 오차 등이 있다. 특히, 수문관측시설은 연속적인 작동으로 인해 현장의 강우, 습도, 먼지 등에 의해 오차가 발생할 가능성이 크며, 이러한 오차는 지속적으로 누적된다. 오차를 줄이기 위해서는 문제가 발생하는 지점에 대해서 지속적인 유지관리를 하여야 한다. 유지관리는 현장점검을 통해 관리하거나, 통계학적으로 자료를 분석하는 방법 등이 있다. 자료를 분석하는 방법은 시계열 분석을 통해 이상치를 검정하고 결측값에 대해서는 시계열 특성이나 주변의 관측소자료를 활용하여 자료를 재생산하는 방법이다. 유지관리를 위해 수문자료를 활용하는 방법은 장기간의 자료의 축적이 필요하다. 반면, 현장점검을 통한 유지관리 방안은 오류의 문제점들을 사전에 예측함으로써 보다 신속한 현장조치가 가능하다.

수문조사의 어려움과 수문자료의 개선을 위해 수문조사 선진화계획이 수립되었으며, 이를 바탕으로 다양한 수문조사 관련 사업으로 발전하였다. 대표적으로 MOLIT (2008, 2010)는 안정적인 실시간 자료의 생성을 위해 국가수문관측망과 국가유량관측망을 구축한 바 있다. 수위관측의 경우 측정자동화로 인해 보다 효율적인 유지관리가 상대적으로 쉽다. 반면 유량관측의 경우 수위유량관측곡선식의 유도를 목적으로 수행되며, 유량관측은 많은 인력투입을 투입해야만 모든 유량관측소의 운영이 가능하다. 특히 우기시 모든 유량관측소를 동시에 운영·관리하는 것은 현실적으로 어려우며, 유량관측소의 효율성을 제고하기 위해 유지관리의 우선순위를 결정하여 관리하는 것이 보다 효율적이다. 즉, 주변의 여건이나 하상변동의 심한 경우 정확도 확보를 위해 주기적인 관측이 필요하며, 상대적으로 안정된 하천의 경우 전자에 비해 주기적인 관측의 중요성이 떨어진다. 따라서 자료수집이 안정적인 수위관측소보다는 주변 여건 변동이라든지, 장비의 오류가 자주발생되는 지점에 대해 우선적으로 점검하여야 한다.

관측소 운영에 관련된 국내외 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Jo et al. (2012)는 하천유지관리기술을 확보하기 위해 항공레이저측량과 영상자료를 활용하여 하상자료 및

하상변동을 분석하였으며, Park et al. (2008)은 공간정보기술을 하천에 적용하여 하천구역관리 방안을 제안한 바 있다. Yu et al. (2011)은 하천의 효율적 관리를 위한 하상변동 모니터링을 수행하였으며, Hong and Shin (2015)은 수문관측설비에 대한 안정성 확보를 위해 성능시험 표준가이드라인을 제시하여 관측설비의 표준화된 검증체계를 구축하였다. 유역을 대표할 수 있는 관측망 구축은 엔트로피 이론, 상관성분석, 주성분 회귀분석과 같은 통계학 기법이 주로 이용되고 있다(참고문헌). 국외에서는 Chapman (1986)이 엔트로피 이론을 적용하여 관측자료의 불확실성을 검토하였으며, Yang and Burn (1994)과 Al-Zahrani and Husain (1998)은 최적관측망 설계 및 관측소 신설을 위해 엔트로피 이론을 적용하였다. 국내에서는 수위관측망 구축을 위해 Lee et al. (2014)는 다목적 최적화 기법을 적용을, Jo et al. (2012)는 양상불 기법을 적용하여 관측망을 구축한 바 있다. 또한 수위관측소의 중요도를 선별하기 위해 MOLIT (2008)는 홍수예정보 지점, 중권역권의 출구점, 자료보유기간, 국가유량측정망 지점, 수질 관리지점 등을 고려하여 수위관측소의 중요도를 등급화 하였다. Lee et al. (2017)은 로지스틱 회귀모형을 통해 수위관측소의 문제점을 예측할 수 있는 기법을 제시하고, 회귀모형의 정확도 검증을 위해 ROC 성능평가기법을 적용하였다. 국내·외의 연구를 종합해 보면 수위관측소에 관련된 국내연구는 유역을 대표할 수 있는 관측소의 위치 및 개수에 중점을 두고 있다. 그러나 이러한 연구들은 안정적인 자료의 생산보다는 유역을 대표할 수 있는 관측소선별 과정이다. 따라서 관측소 운영시 문제점이 발생할 수 있는 가능성이 높은 지점에 대한 유지관리 기법은 아니다. 이에 본 연구에서는 Lee et al. (2017)에서 제시한 로지스틱 회귀모형을 통해 오류발생 가능성이 큰 관측소를 선별하고, 오류가 발생된 사례분석을 통해 국토교통부에서 제시한 관측소 관리등급의 적정성을 검토하고자 한다. 이를 위해 한강유역의 46개의 유량관측소를 대상으로 적용하여 제안된 방법론의 효율성을 검토하였다.

2. 로지스틱 회귀모형 특성 검토

2.1 대상유역 및 수위관측소 현황

본 연구에서는 국토교통부에서 제시한 유량관측소 등급의 적정성을 검토하기 위해 한강유역을 대상유역으로 선정하였다. 대상유역의 면적은 39,977 km²(한강: 34,428 km², 한강동해: 3,890 km², 안성천: 1,659 km²)이며, 유로연장은 483 km이다. 대상유역에는 205개의 수위관측소(국토교통부: 149개, 한국수자원공사: 43개, 기타: 13개)가 위치에 있으며, 이중 유량관측을 수행하고 있는 46개 지점에 대해 관측소 등급을 검토하였다. Fig. 1과 Table 1은 대상유역의 하천망도와 46개 유량관측지점의 위치를 나타낸 것이다.

Fig. 1. Study Basin and Location of Discharge Stations

Table 1. Status of Discharge Station Applied in this Study

No.	Name of station	No.	Name of station	No.	Name of station
1	Anheung	17	Hyeolcheon	33	Pyeongchang
2	Bangnimgyo	18	Imgye	34	Seongnam
3	Bongsan	19	Janghowon	35	Sihueng
4	Bupyeong	20	Jansu	36	Sincheon
5	Cheongsan	21	Jeongok	37	Sinjeong
6	Gangneung	22	Jeongseon	38	Songcheon
7	Ganhyeon	23	Jeongyeon	39	Songsan
8	Gapyeong	24	Jojong	40	Toegyeon
9	Geoun	25	Jucheon	41	Waeongseongdong
10	Gosomeong	26	Junranggyo	42	Wahpyeonggyo
11	Gunnam	27	Mokdo	43	Yangnyeong
12	Gyeongan	28	Munmak	44	Yangyang
13	Gyulwun	29	Najeon	45	Yeongjung
14	Heukcheongyo	30	Okdong	46	Yulgkuk
15	Heungcheon	31	Paengseong		
16	Hoengseong	32	Palgoe		

2.2 로지스틱 회귀모형

Lee et al. (2017)은 2013년도-2014년도(2,905개)의 유지 관리 자료를 이용하여 회귀모형을 구축하고, 2015년(755개 자료)의 유지관리 자료를 활용하여 회귀모형의 정확도를 검증하였다. 유도된 로지스틱 회귀모형은 6개의 독립변수 (홍수기 여부, 당일 강우량, 관측소 위치, 하상 재질, 최고기온, 관측장비 종류)로 구성되어 있으며, Lee et al. (2017)의

연구에서 제시된 로지스틱 회귀모형은 Eq. (1)과 같다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = 1.085 - 0.394x_1 - 0.007x_2 + 0.268x_3 + 0.5110x_4 + 0.043x_5 - 0.432x_6 \quad (1)$$

여기서, x_1 은 홍수기 여부(여: 1, 부: 0), x_2 는 당일강우량 (mm), x_3 는 관측소 위치(주호름 1, 지류호름 0), x_4 는 하상재 질(우수: 1, 불량: 0), x_5 는 최고기온(°C), x_6 는 관측장비

종류(부자식 1, 부자식 외 0)를 나타낸다. 제시된 회귀모형의 독립변수 특성은 다음과 같다. 유량관측소의 위치의 경우는 주흐름일 경우가 유지관리 측면에서 보다 효율적이며, 부자식 수위계, 하상재질이 모래인 경우는 상대적으로 유지관리가 필요한 조건이 된다. 아울러 최고기온은 결빙으로 영향을 반영하며, 당일강우량은 수위변동으로 인한 오류의 가능성이 고려된다.

2.3 로지스틱 회귀분석 결과 검토

모형에서 예측성공률이 높은 경우는 실제 수위유지관리에서도 정상인 경우가 대부분이다. 대상유역 유량관측소중 회귀모형분석과 실제 수위유지관리 자료가 동일하여 예측성공률이 100%인 경우는 15개의 지점(간현, 고소성, 나전, 방림교, 시흥, 안흥, 옥동, 와평, 왕성동, 전곡, 팽성, 평창, 혈천, 횡성, 흑천교 지점)이다. 이들 지점의 특성은 하천 단면 형상이 잘 변하지 않고 하상 재질이 양호한 지점이며, 관측소는 하천의 주흐름부에 위치하고 있다.

지점별 예측 성공 확률이 80% 이상인 경우, 팔괴 지점을 제외한 13개의 지점(봉상, 신천, 양양, 장수, 정선, 조중, 주천, 중랑교, 청산, 퇴계원, 거운, 군남 지점) 역시 하상재질이 양호하고, 관측소가 하천 주흐름부에 위치하고 있다. 단, 팔괴 지점만은 하상재질은 양호하지만 관측소가 주흐름부에 위치하지 않았다. 예측 확률이 37% ~ 75%인 18개 지점(굴운, 목도, 가평, 강릉, 송산, 송천, 양령, 울곡, 임계, 흥천, 문막, 성남, 신정, 영중, 정연, 경안, 장호원, 부평 지점)의 예측 오류는 주로 결빙에 의한 것으로 분석되었다. 이 경우는 회귀모형에서는 정상으로 예측하였으나 실제 결빙이 발생한 경우와 모형에서는 결빙으로 예측하였으나 실제로는 정상인 경우이다. 단, 강릉 지점만이 우물통 막힘으로 인해 예측 오류가 발생하였다. Table 2는 지점별 회귀분석의 예측 오류의 원인을 정리한 것이다.

3. 회귀모형 및 사례분석을 통한 유지관리 대상지점 결정

3.1 모형을 통한 안정된 지점 선별

본 연구에서는 로지스틱 회귀모형을 통해 오류가 발생되지 않아 유지관리의 중요도가 상대적으로 낮은 지점을 선별하고, 이들을 지점을 제외함으로써 유지관리가 우선적으로 필요한 관측소를 분류하였다. Table 3은 본 연구에 사용된 회귀모형을 통해 상대적으로 유지관리의 중요도가 낮은 정상지점을 정리한 것이며, 모형에서의 오류의 확률인 낮은 지점은 수문자료의 생산이 매우 안정된 지점이라 할 수 있다.

그 결과 46개소 유량관측소중 정상확률이 높아 유지관리의 중요도가 낮은 관측소는 23개(간현, 강릉, 고소성, 나전, 방림교, 봉상, 송천, 시흥, 안흥, 영중, 옥동, 와평, 왕성동,

임계, 전곡, 정선, 주천, 중랑교, 팽성, 평창, 혈천, 횡성, 흑천교 지점)로 분류되었다. 그러나 모형에는 불확실성이 존재함으로 실제 유지관리사례와의 비교를 통해 모형의 불확실성을 검토하였다. 비교 결과 회귀모형에서의 예측결과(100%)와 수문관측 사례(93.3%)가 유사하여 Lee et al. (2017)의 연구에서 제시된 회귀모형은 높은 정확도를 확보하고 있다고 할 수 있다. 회귀모형과 유지관리사례간의 차이를 발생시키는 주 원인은 결빙과 장비오류인 것으로 확인되었다. 이중 회귀모형과 유지관리 사례에서 가장 큰 차이가 발생한 유량관측소는 영중지점이다. 영중지점은 하상 재질이 불량함에도 불구하고 관측소위치와 관측기기의 타입이 우수하여 회귀모형에서는 낮은 오류확률로 분석되었다. 그러나 유지관리 사례에서는 장비고장과 우물통 막힘으로 인해 오류가 발생한 경우이다.

3.2 수위유지관리 사례에서 안정된 지점 선별

회귀모형에서 유지관리의 필요성이 있다고 예측한 23개 지점중 실제 유지관리 사례에서 문제가 발생되지 않은 수위관측소는 16개소(퇴계원, 청산, 신천, 장수, 거운, 팔괴, 군남, 목도, 굴운, 가평, 울곡, 양령, 경안, 신정, 정연, 송산)로 분류되었다. Table 4는 회귀모형에는 문제가 발생될 가능성으로 예측하였으나, 실제 유지관리시 안정된 지점으로 유지관리의 중요도가 낮은 관측소를 나타낸 것이다.

Table 4의 회귀모형과 유지관리 사례분석간에 큰 차이가 발생한 수위관측소는 양령, 경안, 신정, 정연, 송산지점이다. 이들 간에 차이를 발생시킨 주 원인은 주로 강우량과 결빙으로 분석되었다. 오류 발생 원인을 관측소별로 살펴보면 다음과 같다. 이들 관측소들은 관측소 위치는 우수하지만 하상재질이 불량하여 모형에서는 오류로 예측하였으나, 실제 유지관리사례에서는 정상거동을 보인 경우이다. 이중 경안 지점만이 위 오류원인뿐만 아니라 큰 강수량으로 인해 모형에서 오류로 예측하였다.

4. 회귀모형을 통한 유량관측소 관리등급 검토

4.1 국토교통부의 평가기준

유량관측소중 유지관리가 필요한 지점을 선별하는 방안으로는 회귀모형을 통해 지점을 선별하는 방법과 수문조사시설(국토교통부)의 관측소 등급을 활용하는 방법이 있다. 현재 모든 수문관측소는 국토교통부훈령에 의거하여 수문관측시설을 정기적으로 점검하고 있다(Table 5 참조). 수문조사시설의 평가결과는 평가점수에 따라 최적, 우수, 보통, 개선대상, 조정대상 등 5개 등급으로 구분된다. 관측소의 관리등급을 결정하기 위해 관측소 환경, 수위유지관리 평가, 수위자료 관리, 관측시설 기준 등을 종합적으로 고려하여 등급을 결정한다. 그러나 국토교통부에서 제시한 수문조사

Table 2. Result of Regression Analysis Each Discharge Station

Discharge station	Prediction success (%)	Effect of main stream	River bed material	Causes of errors	
				Reg.	Data
Ganhyeon	100.0	Good	Good		
Gososeong	100.0	Good	Good		
Najeon	100.0	Good	Good		
Bangnimgyo	100.0	Good	Good		
Sihueng	100.0	Good	Good		
Anheung	100.0	Good	Good		
Okdong	100.0	Good	Good		
Wahpyeonggyo	100.0	Good	Good		
Waeongseongdong	100.0	Good	Good		
Jeongok	100.0	Good	Good		
Paengseong	100.0	Good	Good		
Pyeongchang	100.0	Good	Good		
Hyeolcheon	100.0	Good	Good		
Hoengseong	100.0	Good	Good		
Heukcheongyo	100.0	Good	Good		
Bongsan	87.5	Good	Good		Freezing
Sincheon	87.5	Good	Good	Rainfall	
Yangyang	87.5	Good	Good	Freezing	Freezing
Jansu	87.5	Good	Good	Rainfall	
Jeongseon	87.5	Good	Good		Freezing
Jojong	87.5	Good	Good	Freezing	Freezing
Jucheon	87.5	Good	Good		Freezing
Jungranggyo	87.5	Good	Good		Equipment
Cheongsan	87.5	Good	Good	Rainfall	
Toegyewon	87.5	Good	Good	Freezing	
Palgoe	87.5	Bad	Good	Freezing	
Geoun	85.7	Good	Good	Rainfall	
Gunnam	80.0	Good	Good	Rainfall	
Gyulwun	75.0	Bad	Good	Freezing	
Mokdo	75.0	Bad	Good	Freezing	
Gapyeong	62.5	Bad	Good	Freezing	
Gangneung	62.5	Good	Good		well-foundation
Songsan	62.5	Good	Bad	Freezing	
Songcheon	62.5	Good	Bad		Freezing
Yangnyeong	62.5	Good	Bad	Freezing	
Yulgkuk	62.5	Good	Bad	Freezing	
Imgye	62.5	Good	Good		Freezing
Heungcheon	62.5	Bad	Bad	Freezing	Freezing
Munmak	50.0	Bad	Good	Freezing	Freezing
Seongnam	50.0	Good	Bad	Freezing	
Sinjeong	50.0	Good	Bad	Freezing	
Yeongjung	50.0	Good	Bad		Freezing
Jeongyeon	50.0	Good	Bad	Freezing	
Gyeongang	37.5	Good	Bad	Freezing	
Janghowon	37.5	Bad	Bad	Freezing	
Bupyeong	37.5	Bad	Bad	Freezing	Freezing

Table 3. Maintenance-free Station by Logistic Regression Analysis

Discharge station (23)	Num. of data	Model		Observation case		Cause of error
		Normal frequency	Normal probability	Normal frequency	Normal probability	
Ganhyeon	8	8	100.0	8	100.0	Well-foundation
Gangneung	20	20	100.0	15	75.0	
Gososeong	10	10	100.0	10	100.0	
Najeon	16	16	100.0	16	100.0	
Bangnimgyo	9	9	100.0	9	100.0	
Bongsan	22	22	100.0	21	95.5	Freezing
Songcheon	18	18	100.0	14	77.8	Freezing
Sihueng	24	24	100.0	24	100.0	Equipment
Anheung	14	14	100.0	14	100.0	
Yeongjung	15	15	100.0	8	53.3	
Okdong	13	13	100.0	13	100.0	
Wahpyeonggyo	25	25	100.0	25	100.0	
Waeongseongdong	9	9	100.0	9	100.0	Freezing
Imgye	20	20	100.0	15	75.0	
Jeongok	16	16	100.0	15	93.8	
Jeongseon	11	11	100.0	10	90.9	
Jucheon	10	10	100.0	9	90.0	
Jungranggyo	23	23	100.0	22	95.7	Equipment
Paengseong	7	7	100.0	7	100.0	
Pyeongchang	9	9	100.0	9	100.0	
Hyeolcheon	15	15	100.0	15	100.0	
Hoengseong	15	15	100.0	15	100.0	
Heukcheongyo	13	13	100.0	13	100.0	

Table 4. Maintenance-free Station by Maintenance Data

Discharge station (16)	Num. of data	Model		Observation case		Cause of error
		Normal frequency	Normal probability	Normal frequency	Normal probability	
Toegyeon	27	26	96.3	27	100.0	Freezing
Cheongsan	25	24	96.0	25	100.0	Rainfall
Sincheon	20	19	95.0	20	100.0	Rainfall
Jansu	18	17	94.4	18	100.0	Rainfall
Geoun	15	14	93.3	15	100.0	Rainfall
Palgoe	13	12	92.3	13	100.0	Freezing
Gunnam	12	11	91.7	12	100.0	Rainfall
Mokdo	19	17	89.5	19	100.0	Freezing
Gyulwun	12	10	83.3	12	100.0	Freezing
Gapyeong	21	17	81.0	21	100.0	Freezing
Yulguk	15	12	80.0	15	100.0	Freezing / Rainfall
Yangnyeong	14	11	78.6	14	100.0	Freezing
Gyeongang	25	17	68.0	25	100.0	Freezing / Rainfall
Sinjeong	11	7	63.6	11	100.0	Freezing
Jeongyeon	11	7	63.6	11	100.0	Freezing / Rainfall
Songsan	8	5	62.5	8	100.0	Freezing

시설 평가기준은 관측소의 효율적인 운영을 위한 권고사항으로 절대적인 기준은 될 수 없다. 따라서 연구에서는 Lee et al. (2017) 연구에서는 제안된 회귀분석 결과와 국토교통부의 수문관측등급을 활용하여 향후 등급조정이 필요한 지점과 지속적인 유지관리가 필요한 유량관측소를 선별하였다.

Table 5. Assessment Level of Hydrological Survey Facility

Evaluation level	Overall score
A (Optimal)	90 ~ 100
B (Excellent)	80 ~ 90
C (Acceptable)	60 ~ 80
D (Improvement target)	40 ~ 60
E (Adjustment target)	Below 40

4.2 평가기준을 통한 최적유지관리 결정

본 연구에서는 관측소 최적유지관리 계획을 수립하기 위해 국토교통부에서 제시한 관측소의 등급과 회귀모형에서의 유지관리 중요지점 분석결과를 동시에 고려하였다. 국토교통부의 관리등급이 우수한 관측소가 회귀모형과 실제 유지관리 사례에서 지속적인 오류가 발생한다면 관측의 관리등급을 재검토하여야 한다. 반대로 회귀모형과 실제 유지관리 사례에서 안정된 관측소를 낮은 등급으로 분류되었다면 이 역시 국토교통부의 관리등급의 재검토가 필요하다. 최적유지관리 계획은 크게 4가지로 경우로 분류할 수 있다.

첫 번째로, 회귀모형과 실제 유지관리 사례에서 오류발생 확률이 적고 관리등급에서 상위등급으로 분류되었다면 이는 유지관리의 중요도가 낮은 경우이다. 두 번째로, 회귀모형과 실제 유지관리 사례에서 오류발생확률이 높으나 관리등급

에서 상위등급으로 분류되었다면 관리등급의 재검토가 필요한 경우이다. 세 번째로, 회귀모형과 실제 유지관리사례에서 오류발생확률이 낮으나 관리등급에서 하위등급으로 평가되었다면, 이 경우 역시 관측등급의 재검토가 필요하다. 마지막으로, 회귀모형과 실제 유지관리사례에서 오류발생 확률이 크고 관리등급 역시 하위등급으로 분류되었다면 관측소의 유지관리가 우선적으로 필요한 지점이다. 본 연구에서는 회귀모형에서 분류된 유지관리의 중요도와 국토교통부의 관리등급과의 비교를 통해 개별 관측소의 유지관리 계획을 검토하였다.

4.2.1 유지관리 제외지점과 관리등급과의 비교

최적유지관리 계획을 수립하기 위해 회귀모형 및 실제 유지관리사례와 국토교통부의 관리등급을 비교하였다. 회귀모형과 실제 유지사례를 통해 유지관리가 매우 안정된다고 판단되는 지점은 14개 지점(간현, 고소성, 나전, 방림교, 시흥, 안흥, 옥동, 와평, 왕성동, 평성, 평창, 혈천, 횡성, 흑천교)이다. 이들 관측소를 국토교통부의 관리등급과 비교하면 와평 지점만을 제외하고 모두 A등급이다. 본 연구의 유지관리계획과 국토교통부의 관리등급과의 결과가 일치하여 회귀모형과 국토교통부의 관리등급결과는 신뢰성이 높다고 판단된다. 단, 와평 지점은 회귀모형과 실제 수위유지관리 자료에서 정상확률이 높아 매우 안정된 지점이나, 본 관측지점은 신설관측소로 현재 관리등급이 결정되지 않았다. 그러나 향후 국토교통부에서 수문조사 평가기준에 따라 와평지점을 평가한다면 A등급으로 분류될 가능성이 크다. 따라서 위 14개 지점은 유지관리 우선순위에서 제외할 수 있다. Table 6은 회귀모형과 실제 유지관리사례에서 100% 정상인 경우를 국토교통부의 관리등급과 비교한 것이다.

Table 6. Comparison of Maintenance-free Station and Maintenance Grade

Discharge station (14)	Num. of data	Model		Observation case		Evaluation grade (MOLIT)
		Normal frequency	Normal probability	Normal frequency	Normal probability	
Ganhyeon	8	8	100.0	8	100.0	A
Gosomeong	10	10	100.0	10	100.0	A
Najeon	16	16	100.0	16	100.0	A
Bangnimgyo	9	9	100.0	9	100.0	A
Sihueng	24	24	100.0	24	100.0	A
Anheung	14	14	100.0	14	100.0	A
Okdong	13	13	100.0	13	100.0	A
Wahpyeonggyo	25	25	100.0	25	100.0	(New st.)
Waeongseongdong	9	9	100.0	9	100.0	A
Paengseong	7	7	100.0	7	100.0	A
Pyeongchang	9	9	100.0	9	100.0	A
Hyeolcheon	15	15	100.0	15	100.0	A
Hoengseong	15	15	100.0	15	100.0	A
Heukcheongyo	13	13	100.0	13	100.0	A

4.2.2 유지관리 대상지점과 관리등급과의 비교

다음으로는 회귀모형과 실제 유지관리 사례에서 관측 오류가 발생되어 유지관리가 필요한 지점이다. 첫 번째로 회귀 모형에서는 오류로 예측하였으나 실제 유지사례에서는 오류가 발생되지 않은 경우이다. 이 경우에 해당되는 수위관측소는 16개 지점(퇴계원, 청산, 신천, 장수, 거운, 팔괴, 군남, 목도, 굴운, 가평, 울곡, 양령, 경안, 신정, 정연, 송산 지점)이다(Table 7 참고). 그러나 이들 관측소들은 실제 유지관리 사례에서 문제점이 없는 지점으로 이들 지점은 A등급으로

분류하는 것이 타당하다. 이중 송산지점의 경우 B등급으로 분류되어 있으나 유지관리사례분석을 통해 높은 정상경향을 보인다면 A등급으로 재평가되어야 한다. 다만 본 연구에서는 적용된 수위유지관리 횟수가 8회밖에 되지 않아 추가적인 유지관리 자료의 축적이 필요하다.

다음으로 실제 유지관리 사례에서 문제가 발생한 지점들이다. 이에 해당되는 관측소는 총 46개 관측소중 16개 지점(중랑교, 봉상, 전곡, 성남, 정선, 주천, 조종, 문막, 송천, 장호원, 홍천, 강릉, 임계, 부평, 영중, 양양)이다. 이중 봉상

Table 7. Comparison of Maintenance Target Station and Evaluation Grade

Discharge station	Num. of data	Model		Observation case		Evaluation grade (MOLIT)
		Normal frequency	Normal probability	Normal frequency	Normal probability	
Toegyewon	27	26	96.3	27	100.0	A
Cheongsan	25	24	96.0	25	100.0	A
Sincheon	20	19	95.0	20	100.0	A
Jansu	18	17	94.4	18	100.0	A
Geoun	15	14	93.3	15	100.0	A
Palgoe	13	12	92.3	13	100.0	A
Gunnam	12	11	91.7	12	100.0	A
Mokdo	19	17	89.5	19	100.0	A
Gyulwun	12	10	83.3	12	100.0	A
Gapyeong	21	17	81.0	21	100.0	A
Yulgkuk	15	12	80.0	15	100.0	A
Yangnyeong	14	11	78.6	14	100.0	A
Gyeongang	25	17	68.0	25	100.0	A
Sinjeong	11	7	63.6	11	100.0	A
Jeongyeon	11	7	63.6	11	100.0	A
Songsan	8	5	62.5	8	100.0	B
Jungranggyo	23	23	100.0	22	95.7	A
Bongsan	22	22	100.0	21	95.5	(New st.)
Jeongok	16	16	100.0	15	93.8	A
Seongnam	13	10	76.9	12	92.3	A
Jeongseon	11	11	100.0	10	90.9	A
Jucheon	10	10	100.0	9	90.0	A
Jojong	22	21	95.5	19	86.4	A
Munmak	21	17	81.0	18	85.7	A
Songcheon	18	18	100.0	14	77.8	A
Janghowon	27	15	55.6	21	77.8	A
Heungcheon	30	18	60.0	23	76.7	A
Gangneung	20	20	100.0	15	75.0	A
Imgye	20	20	100.0	15	75.0	A
Bupyeong	19	9	47.4	12	63.2	A
Yeongjung	15	15	100.0	8	53.3	A
Yangyang	15	10	66.7	6	40.0	A

지점은 신설관측소로 관리등급이 부재하지만 회귀모형과 유지관리 사례에서 높은 정상확률로 분석되어 향후 국토교통부의 관리등급에서 A등급으로 분류될 가능성이 크다. 실제 유지관리 사례에서 정상확률이 40% ~ 77%로 상대적으로 낮은 확률을 보이는 관측소는 8개 지점(송천, 장호원, 홍천, 강릉, 임계, 부평, 영중, 양양 지점)이다. 이중 관리등급이 A이나 회귀모형과 실제 수위유지관리시 잦은 오류가 발생된 지점은 3개 지점(장호원 지점, 홍천 지점, 부평 지점)이다. 이들 지점에 대해 관측 사례를 통해 그 오류의 원인을 찾아보면 다음과 같다.

장호원 지점은 실제 정상확률이 77.8%이며 관측소의 위치는 좌안에 편중되어 설치되어 있다. 또한 모래하상으로 세굴 및 퇴적 등 단면변화가 심할 것으로 판단되는 지점이며, 7월 달에는 우물통 막힘으로 오류가 발생하였다. 따라서 장호원 지점의 경우 더 많은 유지관리 자료를 확보하여 오류가 빈번히 발생한다면 관리등급 조정이 필요하다. 홍천 지점은 실제 정상확률이 76.7%이며 회귀모형에서도 정상확률이 낮다. 하상재료는 모래로 되어 있어 세굴 및 퇴적작용에 의한 단면변화가 예상되며, 관측소의 위치 역시 좌안에 편중되어 있다. 유지관리 사례에도 지속적인 우물통 막힘 현상으로 기준수위표 수위와 계기수위의 차이가 발생하였다. 따라서 본 지점은 지속적인 우물통 막힘 현상이 발생한다면 관리등급 조정하여 지속적인 유지관리가 필요한 지점이다. 마지막으로 부평 지점은 회귀모형과 유지관리 사례에서 낮은 정상확률을 보인 지점이다. 본 지점은 수위관측소 위치가 좌안에 편중되어 있으며 주흐름의 영향을 받는다. 하상은 모래와 자갈로 이루어져 하상재질이 불량하며, 지속적인 우물통 막힘 현상이 발생하였다. 따라서 본 지점은 관측소 년수가 오래되어 지속적인 우물통 막힘 현상이 발생하고 있어 현재 국토교통부에서 A 등급으로 평가된 결과의 재검토가 필요하다.

본 연구에서는 회귀모형과 실제 유지관리사례를 통해 국토교통부에서 제시한 관측소 관리등급을 검토하였다. 국토교통부에서 제시한 관리등급 역시 평가인자 및 가중치 설정에 따라 관리등급이 변경된다. 따라서 제시된 관리등급은 절대적인 기준이 될 수 없으며, 본 연구에서 제안된 회귀모형 및 관측소의 유지관리사례 등을 종합으로 분류하여 재검토할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 Lee et al. (2017)의 연구에서 유도된 로지스틱 회귀모형을 통해 오류발생 가능성이 큰 유량관측소를 선별하고, 유지관리 사례분석을 통해 국토교통부에서 제시한 관측소 관리등급의 적정성을 검토하였다. 이를 한강유역의 46개의 유량관측소를 대상으로 적용하여 제안된 방법론의 효율성을 검토하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

회귀모형과 유지관리 사례를 통해 관측오류의 문제점이 낮은 관측소는 23개로 분석되었다. 또한 회귀모형에서 문제 발생가능성이 있다고 예측하였으나 실제 유지관리 사례와 비교한 결과, 문제가 발생되지 않은 수위관측소는 16개소였다. 이를 국토교통부에서 제시한 관측소의 등급과 회귀모형의 결과를 동시에 고려하여 관리등급의 적정성을 검토하였다. 그 결과, 신설지점인 와평, 봉상 지점을 제외한 송산 지점만이 관리등급 B로 분류되었으며, 나머지 지점들은 관리등급 A로 분류되었다. 이중 국토교통부에서 제시한 관리등급 A 관측소중 회귀모형과 실제 유지관리시 잦은 오류가 발생된 지점은 장호원 지점, 홍천 지점, 부평 지점이다. 본 관측소의 국토교통부의 관리등급의 조정이 필요한 지점으로 판단된다. 본 연구에서는 한정된 인력과 장비로 매년 증가하는 관측소에 대응하기 위해 유지관리 지점을 선별하여 관리함으로써 보다 안정적인 관측자료 생산하는데 목적이 있다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교의 교내연구(2017-0700)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 진심으로 감사드립니다.

References

- Al-Zahrani, M., and Husain, T. (1998) An Algorithm for Designing a Precipitation Network in the South-western Region of Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, Vol. 205, No. 3-4, pp. 205-216.
- Chapman, T.G. (1986) Entropy as a Measure of Hydrologic Data Uncertainty and Model Performance. *Journal of Hydrology*, Vol. 85, No. 1-2, pp. 111-126.
- Chun, J.H. (2015) An Optimal Maintenance Planning for Water Level Stations Using the Log-logistic Regression Model. Master's thesis, Seoul National University.
- Hong, S.T., and Shin, G.W.(2015) Improving Efficiency through the Hydrological Observation Equipment Performance Test Center and Program. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 11, pp. 2731-2738.
- Jo, M.H., Kim, K.J., and Kim, H.J. (2012) Development of a River Maintenance Management Technology Related with National River Management Data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 1, pp. 159-171.
- Joo, H.J., Lee J.H., Jun, H.D., and Kim, H.S. (2016) Construction of Representative Stream Gauge Network

- using Ensemble Technique. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 5, pp. 273-283.
- Lee, J.H., Joo, H.J., Kim, H.S., and Jun, H.D. (2014) Evaluation of a Stream Gauge Network Using Multiobjective Optimization Method. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 4, pp. 143-153.
- Lee, J.H., Lee, J.M., Chun, J.H., Koo, B.S., and Jun, H.D. (2017) Logistic Regression Model Construction and Evaluation for Maintenance of Water Level Stations. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 389-396.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2008) *Establishment of National Hydrological Data Quality Management System*.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2010) *National Hydrological Observation Network Establishment*.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2011) *Establishment of Quality Management System for National Hydrological Data* (5th). Supplementary Appendix. Vol. 2, Guidelines and User Guidelines.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2013) *Advancement of Flood Survey and Monitoring Technology*.
- Park, H.C., Kim, H.S., Jo, Y.W., and Jo, M.H. (2008) Utilization Plan Research of High Resolution Images for Efficient River Zone Management. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 2, pp. 205-211.
- Yang, Y., and Burn, D.H. (1994) An Entropy Approach to Data Collection Network Design. *Journal of Hydrology*, Vol. 157, No. 1-4, pp. 307-324.
- Yu, I.S., Oh, K.R., Seo, S.H., Park, M.J., and Jeong, S.M. (2011) Riverbed Change Monitoring According to Geum River Restoration Project: Focused on the Geum River Weir. *Proceedings of 2011 Conference*, Korea Water Resources Association, p. 338.

Received	■ April 19, 2018
Revised	■ April 26, 2018
Accepted	■ May 8, 2018