소하천 자동유량계측기술 시범유역 선정 및 유역특성 분석

Selection of Small Stream Basins and Characteristics Analysis of Closed-circuit Television-based Automated Discharge Measurement Technology

주재승* · 변현혁** · 김서준*** · 정태성****

Joo, Jaeseung*, Byeon, Hyun Hyuk**, Kim, Seojun***, and Cheong, Tae Sung****

Abstract

The purpose of this study is to produce a guideline for collecting essential data, such as hydraulic and hydrologic data, in unmeasured streams. Most small streams are unmeasured basins, and sufficient data has not been collected for designing floods to achieve adequate disaster response and management. The flood design of unmeasured streams in Korea is typically performed using numerical-based analysis and stochastic methods. However, it is known that the most suitable method is the flood frequency analysis using observed flood data. In this study, a field survey of 89 small streams across the country for two years (2018 and 2019) was performed to select the optimum sites for measuring the flow rates. A total of 79 small streams were selected, excluding small streams that failed to satisfy the criteria for conformity with the closed-circuit television-based automatic discharge measurement technology (CADMT). In addition, information on the characteristics of the small streams was collected from the National Disaster Management System to analyze the correlations between the selected streams. The results showed that the correlations significantly depended on the basin area. If we classify the small streams according to the basin area and then select the small measuring stream to apply CADMT, we can obtain useful hydraulic data from the various small streams.

Key words : Small Stream, Design Floods, Field Survey, CCTV based Automatic Discharge Measurement Technology (CADMT)

요 지

본 연구는 미계측 소하천에서 수리량 등 기초자료 수집을 위한 기반 마련을 목적으로 하고 있다. 소하천은 대부분이 미계측 유역으로 홍수대응 및 유지·관리업무 지원을 위한 기초자료가 부족한 실정이며, 국내에서는 미계측 소하천의 설계홍수량 불확도를 줄이기 위해 수치해석 및 확률론적 방법으로 설계홍수량 산정 기법을 개발·이용하고 있다. 그러나 일반적으로 설계홍수량 산정은 관측 홍수량 자료를 활용하여 홍수빈도해석을 적용하는 것이 가장 적절한 방법으로 알려져 있다. 이에 본 연구는 소하천 관측 홍수량 자료 수집을 위해 2018년과 2019년 2년간 전국 89개 소하천 현장조사를 실시하였으며, CCTV 기반 자동유량계측기술 적합성 판단 기준에 부합한 소하천을 제외하고 최종적으로 79개 시범소하천을 선정하였다. 또한, 국가재난관리시스템(NDMS)의 소하천 정보를 수집하여 시범소하천 별 상관관계를 분석하였다. 본 연구에서는 소하천 규모에 따라 시범소하천 별 상관도가 차이가 나는 것으로 나타났다. 본 연구결과에 따라 추가 시범소하천 선정시 규모에 따른 소하천 유형을 분류하고 시범소하천 선정을 추진한다면 다양한 소하천 유형에 따른 수리량 자료를 계측할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 소하천, 설계홍수량, 현장조사, CCTV 기반 자동유량계측기술

*정회원, 국립재난안전연구원 선임연구원(E-mail: wnwotmd1@korea.kr)

Member, Researcher, National Disaster Management Research Institute

**국립재난안전연구원 연구원(E-mail: mrbyun@korea.kr)

Researcher, National Disaster Management Research Institute

***정회원, 명지대학교 토목환경공학과 연구교수(E-mail: seojuny@paran.com)

Member, Research Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Myoungji University

****교신저자, 정회원, 국립재난안전연구원 시설연구관(Tel: +82-52-928-8180, Fax: +82-52-928-8199, E-mail: bangaeman@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, National Disaster Management Research Institute

1. 서 론

소하천 정비를 위한 설계에 있어서 해당 지역의 수문기상 정보가 필수적으로 요구된다. 일반적으로 설계홍수량 추정에 필요한 정보는 인근 지역의 기상 관측 자료를 활용하여 수문 모델링 또는 강우-유출 관계 분석법 등을 통해 검정된 홍수량 모의 결과를 바탕으로 유출 특성의 재현성을 확보하게 된다(Chae et al., 2018; Cho et al., 2019). 그러나 설계홍수량 추정에 대한 관측 자료가 매우 적기 때문에 기존의 홍수량 추정법으로 산정된 홍수량은 불확도가 크다. 특히 국내 소하천의 경우 미계측유역이 대부분이기 때문에 실무에서 설계홍수량 산정시 과대·소 산정이 되는 경우가 빈번하다. 이에 따라 국내에서는 미계측 유역의 설계홍수량 불확도를 낮추기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

Kim et al. (2018)은 기 수립된 하천의 재현기간에 따른 설계홍수량 및 유역특성인자(면적, 유역경사)로부터, 설계홍수량을 멱함수 형태로 지역화하여 미계측 유역에서 설계홍수량 산정이 가능한 모형을 제안하였다. Chae et al. (2018)은 설계 강우-유출 관계 분석법으로 산정된 값을 지역빈도해석 기법을 바탕으로 보정하여 미계측 유역에서의 확률홍수량을 산정하는 기법을 제안하였으며, 11개 미계측 유역에서 적용성을 검토하여 기존 방법보다 정확도가 총 42.62%가 증가하는 것을 확인하였다. Lee et al. (2017)는 미계측유역에서 면적비를 적용하여 설계홍수량을 산정하는 방안을 제안하고 31개소의 소하천을 대상으로 설계홍수량을 비교하여 미계측 유역에서의 적용성을 판단하였다.

선행 연구들은 관측 자료가 없는 경우 설계홍수량을 산정하는 방안으로써, 일반적으로 설계홍수량 산정은 관측 홍수량 자료를 활용하여 홍수빈도해석을 적용하는 것이 가장 적절한 방법으로 알려져 있다(Stedinger et al., 1993; Kim et al., 2018). 따라서 신뢰도 높은 설계홍수량 산정을 위해 다양한 소하천 유역의 관측 홍수량자료가 요구되고 있는 실정이다.

Cheong et al. (2018)은 표면영상유속계(Surface Image Velocimetry, SIV) 기법을 활용하여 CCTV기반의 자동유량계측기술을 개발하였으며, 4개 소하천(중선필천, 선장천, 능막천, 운촌천)에 시범 적용하여 홍수량 계측 정확도 검증을 완료하였다(NDMI, 2017, 2018). 행정안전부 국립재난안전연구원은 개발 완료된 자동유량계측기술의 장비 및 설치 표준(안)을 제시함으로써, 전국 미계측 소하천의 수위, 유량 자료를 자동으로 계측 가능한 기반을 마련하였다(Joo and Cheong, 2019). 따라서 본 연구에서는 양질의 소하천 기초자료 수집을 위해 자동유량계측기술을 시범 적용할 소하천을 현장조사를 통해 선정하고 선정된 시범소하천에 대한 지형적 특성을 제시하고자 한다.

2. 시범소하천 선정을 위한 현장조사

국내의 소하천은 소하천정비종합계획시 지정·폐지되고

있으나, 2016년 기준 22,657개의 소하천이 분포하고 있다. 이들 소하천 중 자동유량계측기술을 적용할 시범소하천은 다음과 같은 방법으로 분류하였다. 우선 4대강유역 내에 포함된 전체소하천을 대상으로 홍수위험도를 분석한 결과를 고려하였다. 이때 홍수위험도는 4대강 유역에 포함된 하천을 대상으로 과거피해액, 취약성, 기후변화 영향도 등을 정량적으로 분석하였으며, 그 결과를 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다(MOIS, 2016). 여기서 1 내지 2등급에 해당하는 4,679개 소하천을 추출하여 후보군을 분석하였으며, 유로연장이 1 km 이상 되어 100 m 이상의 직선구간이 존재할 가능성이 높은 소하천, 그리고 소하천정비종합계획의 수립이 완료되어 유역특성자료 수집이 용이한 소하천을 대상으로 2,200여개의 시범소하천 후보군을 추출하였다(NDMI, 2017).

Table 1. Ratio of Small Stream by the Flood Risk Rating (MOIS, 2016)

Rating	Number of Counts	Ratio (%)
First	2,273	10.03
Second	2,406	10.62
Third	3,209	14.16
Fourth	3,666	16.18
Fifth	3,856	17.02
etc.	7,247	31.99
Total	22,657	100

Fig. 1. Result of Flood Risk Analysis (MOIS, 2016)

추출된 대상 시범소하천들 중 자동유량계측기술을 적용하기 위하여 전원공급 및 통신 연결이 가능한곳, 여울이나 사수역 등에 의해 흐름이 편향되지 않고 안정적으로 흐르는 곳 등 설치조건을 만족하는지 여부를 현장조사를 통해 적정성 판단이 필요하다.

즉, 자동유량계측기술은 표면유속을 측정하여 유량을 계측하는 기술로써 Table 2와 같이 흐름방향에 장애물이 없는 지점, CCTV를 설치하여 하천의 흐름을 전체적으로 촬영이 가능한 지점, 태양 고도가 낮을 경우 태양 빛의 수면 반사가 적은 지점, 영상 내 수면파문이 잘 보이는 지점 등을 만족하는 위치에 설치하여야 정확도 높은 수리량을 계측할 수 있다 (NDMI, 2018).

Table 2. Guideline on Selection of Location for the CCTV based Automatic Discharge Measuring Techniques

• Where there are no obstacles (stones, etc.) that obstruct the flow
• Where the water level is not artificially changed due to weirs and gates
• Where the flow is not disturbed by pool and riffles
• Where CCTV can be installed to photograph the flow of the river as a whole
• Where bridges are installed to facilitate the installation of water gauges
• Where constant power and internet connection are available
• Where there is no additional flow to the river through culverts, etc.
• Where location can be accessed easily for device installation and system maintenance
• Where ripples are easily seen in the video
• Where the sun's altitude and reflection are low (when sunrise or sunset)
• Where whole surface is not covered by vegetation (tree branches and grass)
• Where shadows do not occur due to trees and bridges around

따라서 본 연구에서는 2,200여개 시범소하천 후보군들 중 지자체 담당자들과의 시간적 협의를 통해 소하천 위치 파악, 정비현황 제공 등이 즉시 가능한 소하천(10개의 시·도 내 52개 시·군의 89개 소하천)을 대상으로 2년간('18년 36개소, '19년 50개소) 현장조사를 실시하여 자동유량계측 기술 적용의 적합성을 판단하였다.

현장조사를 실시한 소하천 위치도는 Fig. 2에 나타내었으며, 지자체 별 현장조사 소하천 개소수는 Table 3에 나타내었다.

Fig. 2. Position of Target for Field Survey

Table 3. Number of Small Stream Subjected to Field Survey

Administrative District	Cities and Counties	Small Stream
Daegu	1	1
Sejong	1	3
Gyeonggi	2	2
Gangwon	7	14
Chungbuk	9	14
Chunnam	8	14
Gyeongbuk	7	11
Gyeongnam	7	12
Jeonbuk	2	2
Jeonnam	8	16
Total	52	89

3. 시범구역 선정 결과

본 연구에서는 2년간 2회(2018년 3월 8일 ~ 23일, 2019년 3월 18일 ~ 4월 3일)에 걸쳐서 자동유량계측기술 시범소하천 선정을 위해 현장조사를 실시하였다. 총 52개 시·군 89개 소하천 중 10개의 소하천을 제외한 79개의 소하천이 자동유량계측기술을 적용하기에 적합한 소하천으로 나타났다. 선정된 소하천은 가장 기본적인 전력공급과 인터넷 연결이 가능하고 CCTV 및 수위계 등 장비설치가 가능한 곳을 우선으로 조사하였으며, 주변 식생 등에 의해 수면 전체가 가려지지 않고 그림자가 발생하지 않아 CCTV 영상 내 수면파문이 잘 나타나 유속계측이 용이한 장소를 고려하였다. 또한 수위

계 설치를 위한 교량 상·하류에 흐름을 방해하는 구조물이 존재하지 아니하며, 흐름의 안정을 위한 직선구간이 상·하류로 길게 형성되어 있는 곳을 고려하였다. 따라서 금회 현장조사를 통해 선정된 79개 소하천은 자동유량계측기술을 적용하기에 적합한 것으로 나타났으며, 최종 시범소하천 선정 결과를 Table 4에 수록하였다. 또한, 자동유량계측기술의 적용을 위한 설치위치를 몇몇 소하천에 한하여 Fig. 3에 도시하였다.

Table 4에서 시범소하천으로 부적합(Bad)으로 결정된 경우는 대부분 소하천의 연장이 짧고 상·하류부에 저수지와 합류부가 존재(Figs. 4(a), 4(b))하는 경우가 대부분인 것으로 나타났다. 이 뿐만 아니라 Fig. 4(c)와 같이 소하천 전 구간에 걸쳐 만곡부가 길게 형성되고, 상·하류에 구조물이 존재(Fig. 4(d))하는 소하천은 흐름이 불안정하여 자동유량계측기술 시범소하천에서 제외하였다.

4. 시범소하천의 지형적 특성

4.1 시범소하천 특성인자 분포 분석

국가재난관리시스템(National Disaster Management System, NDMS)의 소하천 정보를 요청하여 선정된 79개 시범소하천의 최대하폭, 하천연장, 유역면적 등 지형적 특성을 조사하였다. 조사된 소하천 특성정보는 NDMS 내 누락된 자료를 제외하고 각각의 특성별 최대·소값과 최빈도값 등을 분석하였다(Table 5).

그 결과 유역면적은 최대 42.73 km² (Eomdalgol Stream)에서 최소 0.58 km² (Geumseong Stream)로 나타났으며, 1 km² 이상에서 5 km² 미만의 소하천이 총 79개 중 49개(62.0%)로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다.

하천연장은 최대 23.7 km (Duksan Stream)에서 최소 1.3 km (Somi Stream)로 하천연장 역시 1 km 이상에서 5 km

Table 4. Result of Field Survey for Test Bed Monitoring

Administrative District	Cities and Counties	Small Stream		Administrative District	Cities and Counties	Small Stream	
		Good	Bad			Good	Bad
Gyeonggi	Yangpyeong	1	-	Daegu	Dalseong	1	-
	Hanam	1	-	Sejong	Sejong	2	1
Gangwon	Chuncheon	2	1	Gyeong-buk	Mungyeong	3	-
	Pyeongchang	3	-		Bonghwa	2	-
	Hwacheon	1	-		Cheongsong	2	-
	Hoengseong	1	-		Gyeongsan	1	-
	Gangneung	1	-		Gimcheon	1	-
	Inje	4	-		Yeongyang	1	-
	Hongcheon	1	-		Yeongcheong	1	-
Chung-buk	Yeongdong	4	-	Gyeong-nam	Gimhae	1	-
	Goesan	1	-		Namhae	1	-
	Boeun	1	-		Sancheong	1	2
	Okcheon	1	-		Tongyeong	2	1
	Jecheon	1	-		Hapcheon	2	-
	Jeungpyeong	1	-		Geochang	1	-
	Jincheon	1	-		Changnyeong	1	-
	Cheongju	2	-	Jeon-buk	Iksan	1	-
	Chungju	1	1		Jeonju	1	-
Chung-nam	Geumsan	2	-	Jeon-nam	Goheung	3	-
	Dangjin	1	1		Gokseong	1	-
	Seosan	2	1		Yeonggwang	4	-
	Hongseong	2	-		Hampyeong	2	1
	Gongju	2	-		Haenam	1	-
	Boryeong	1	-		Gwangyang	-	1
	Asan	1	-		Suncheon	2	-
	Cheongyang	1	-		Hwasun	1	-

Fig. 3. Result of Location Selection in Order to Installation of Automatic Flow Metering Instrument by Cities and Counties

Fig. 4. Nonconforming Small Streams to Installing of the Automatic Flow Metering Instrument

Table 5. Data on the Characteristics of the basin in the Pilot Streams

Administrative District	Cities and Counties	Small Stream	Channel Width _{max} (m)	Channel Width _{min} (m)	Channel Length (km)	Channel Slope	Basin Area (km ²)	Basin Width (km)	Basin Coefficient
Daegu	Dalseong	Heungdeok	30.00	3.00	3.30	0.049	1.33	0.40	0.12
Sejong	Sejong	Mungok	-	-	5.00	0.016	7.48	1.51	0.30
		Somi	-	-	1.30	0.037	0.73	0.56	0.43
Gyeonggi	Hanam	Goyanggol	13.00	3.00	3.80	0.044	2.16	0.57	0.15
	Yangpyeong	Sinhaw	38.00	2.00	6.10	0.025	2.82	0.46	0.08
Gangwon	Chuncheon	Amsil	27.00	3.00	4.80	0.031	3.76	0.78	0.16
		Dangrim	55.00	3.00	10.70	0.064	13.3	1.24	0.12
	Gangneung	Sandaewol	19.00	4.00	6.00	0.018	1.76	0.29	0.05
	Pyeongchang	Daemi	39.00	2.00	12.50	0.043	14.49	1.16	0.09
		Yangji	16.00	3.00	5.10	0.026	4.34	0.85	0.17
		Haenghwadong	33.00	3.00	4.20	0.134	3.44	0.82	0.20
	Hoengseong	Bang-a	21.00	6.00	6.80	0.083	4.90	0.72	0.11
	Hongcheon	Gumanri	22.00	5.00	8.20	0.018	7.07	0.86	0.11
	Hwacheon	Hwangcheon	-	-	10.90	0.024	15.58	1.43	0.13
	Inje	Duksan	78.00	3.00	23.70	0.040	33.63	1.42	0.06
		Eomdalgol	57.00	12.00	17.10	0.022	42.73	2.50	0.15
		Gatgol	90.00	5.00	19.30	0.030	25.41	1.32	0.07
		Seolpigol	89.00	9.00	18.20	0.034	34.29	1.88	0.10
Chung-buk	Boeun	Dowon	41.00	8.00	4.50	0.015	6.64	1.48	0.33
	Cheongju	Hangjeong	24.00	4.00	8.50	0.016	6.94	0.82	0.10
		Jungsam	35.00	9.00	7.90	0.004	11.8	1.49	0.19
	Chungju	Yongsan	12.00	3.00	5.70	0.016	2.22	0.39	0.07
	Goesan	Anmindong	31.00	3.00	3.60	0.024	1.99	0.55	0.15
	Jecheon	Gaehwa	28.00	5.00	7.70	0.021	7.07	0.92	0.12
	Jeungpyeong	Seokhyun	11.00	4.00	4.40	0.01	1.52	0.35	0.08
	Jincheon	Kyoseong	16.00	2.00	6.40	0.052	3.44	0.54	0.08
	Okcheon	Gangcheong	21.00	5.00	5.00	0.022	5.2	1.04	0.21
	Yeongdong	Jiddang	11.00	1.00	3.30	0.023	1.01	0.31	0.09
		Keunsukgol	11.00	2.00	3.00	0.062	1.59	0.53	0.18
		Sogye	14.00	3.00	8.20	0.045	4.00	0.49	0.06
		Surinami	18.00	2.00	5.10	0.010	5.21	1.02	0.20
Chung-nam	Asan	Gangjang2	10.00	3.00	3.40	0.023	1.89	0.56	0.16
	Boryeong	Myungdae	11.00	1.00	3.90	0.027	2.18	0.56	0.14
	Cheongyang	Majae	19.00	3.00	3.90	0.053	2.74	0.70	0.18
	Dangjin	Wanseokwoo	30.00	1.00	7.70	0.008	5.50	0.71	0.09
	Geumsan	Bakam	45.00	8.00	3.50	-	-	-	-
		Deodeokgol	14.00	4.00	3.80	0.051	2.56	0.67	0.18
	Gongju	Baenaemi	13.00	3.00	4.10	0.054	1.27	0.31	0.08
		Topgok	24.00	8.00	10.90	0.036	5.94	0.54	0.05
	Hongseong	Jidong	13.00	4.00	2.80	0.019	1.52	0.54	0.19
		Sinri	10.00	6.00	2.20	0.183	0.91	0.41	0.19
	Seosan	Daero	54.00	3.00	8.90	0.004	7.71	0.87	0.10
		Wou	17.00	2.00	5.60	0.014	4.25	0.76	0.14

Table 5. (Continued)

Administrative District	Cities and Counties	Small Stream	Channel Width _{max} (m)	Channel Width _{min} (m)	Channel Length (km)	Channel Slope	Basin Area (km ²)	Basin Width (km)	Basin Coefficient
Gyeong-buk	Bonghwa	Sotgol	13.00	2.00	3.50	0.059	2.80	0.80	0.23
		Wondang	-	-	5.40	0.019	5.63	1.04	0.19
	Cheongsong	Geunsigok	-	-	-	-	-	-	-
		Seokgae	36.00	7.00	3.20	0.025	1.94	0.61	0.19
	Gimcheon	Unggok	33.00	2.00	7.70	0.041	6.19	0.80	0.10
	Gyeongsan	Samae	38.00	2.00	8.90	0.011	6.44	0.72	0.08
	Mungyeong	Yeongchun	17.00	8.00	6.80	0.062	3.49	0.51	0.08
		Gwaneum	29.00	10.00	8.70	0.051	16.91	1.94	0.22
		Sanghari	-	-	3.90	0.033	4.03	1.03	0.26
	Yeongcheong	Uhang	23.00	5.00	3.20	0.022	1.25	0.39	0.12
	Yeongyang	Nodal	35.00	5.00	4.30	0.039	4.31	1.00	0.23
Gyeong-nam	Changnyeong	Hansan	14.00	2.00	4.70	0.007	1.84	0.39	0.08
	Cheongsong	Daejeon	108.00	5.00	5.70	0.027	8.67	1.52	0.27
	Geochang	Yeongok	20.00	2.00	2.60	0.097	1.38	0.53	0.20
	Gimhae	Wondang	10.00	2.00	1.80	0.017	1.23	0.68	0.38
	Hapcheong	Bongdu	10.00	4.00	2.50	0.037	1.41	0.56	0.23
	Namhae	Duksin	14.00	4.00	4.20	0.017	0.93	0.22	0.05
	Sancheong	Dukchon	-	-	2.50	0.110	1.90	0.76	0.31
	Tongyeong	Donam	10.00	2.00	4.10	0.033	1.93	0.47	0.11
		Sinbong	14.00	3.00	3.40	0.014	3.36	0.99	0.29
	Jeon-buk	Iksan	Darcjakgol	-	-	1.60	-	-	-
Jeonju		Gaksa	15.00	10.00	3.60	0.026	2.39	0.66	0.18
Jeon-nam	Goheung	Sangsin	-	-	3.70	-	-	-	-
		Songgok	-	-	5.60	-	-	-	-
		Yanghwa	-	-	3.80	-	-	-	-
	Gokseong	Jookrim	10.00	3.00	5.40	0.018	3.78	0.70	0.13
	Hampyeong	Geumseong	7.00	6.00	2.10	0.052	0.58	0.28	0.13
		Godu	19.00	5.00	2.80	0.009	0.86	0.31	0.11
	Haenam	Sumun	52.00	9.00	3.10	0.008	2.97	0.96	0.31
	Hwasun	Seotae1	-	-	3.10	0.010	3.18	1.03	0.33
	Suncheon	Sangieup	-	-	4.00	0.114	1.24	0.31	0.08
		Pangyo2	-	-	2.20	0.062	0.83	0.38	0.17
	Yeonggwang	Balmak	32.00	7.00	2.80	0.013	1.26	0.45	0.16
		Dumok	18.00	6.00	4.20	0.011	3.18	0.76	0.18
		Sanhachi	33.00	8.00	5.00	-	3.64	0.73	0.15
		Songnam	37.00	6.00	3.90	0.008	2.03	0.52	0.13
Maximum			108.00	12.00	23.70	0.183	42.73	2.50	0.43
Minimum			7.00	1.00	1.30	0.004	0.58	0.22	0.05
Average			27.53	4.38	5.73	0.036	5.70	0.79	0.16
Variance			431.48	6.46	16.52	0.001	61.28	0.19	0.01
Standard deviation			20.77	2.54	4.06	0.032	7.83	0.43	0.08
Coefficient of Variation			0.75	0.58	0.71	0.881	1.37	0.55	0.52
Median			20.50	3.50	4.30	0.026	3.18	0.70	0.15
Mode			14.00	3.00	3.90	0.010	3.44	0.31	0.08
Skewness			2.04	1.01	2.37	2.336	3.12	1.51	1.08
Kurtosis			1.52	-2.62	3.59	4.040	7.36	-0.11	-1.97

미만에서 총 79개 중 54개(68.35%)로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다.

각 특성별 평균값은 최대하폭 27.53 m, 최소하폭 4.38 m, 하천연장은 7.73 km, 그리고 하상경사는 0.04로 비교적 경사가 급한 것으로 나타났으며, 유역면적 5.70 km², 유역평균폭 0.79 km, 유역형상계수는 0.16으로 나타났다. 또한, 금회 시범유역의 유역형상계수는 최대 0.43에서 최소 0.05로 모든 소하천에서 가늘고 긴 유역을 형성하는 것으로 나타났다.

각 소하천 특성의 표준편차는 최대하폭에서 20.77로 가장 크게 나타났으며, 하상경사에서 0.03으로 가장 낮게 나타났다. 그러나 소하천 특성별 단위가 다르기 때문, 각각의 특성별 변동계수(표준편차/평균)를 계산하여 비교하였다. 그 결과 유역면적에서 1.37로 편차가 가장 큰 것으로 나타났으며, 하상경사(0.88), 최대하폭(0.75), 하천연장(0.71) 순으로 크게 나타났다(NDMI, 2019).

4.2 시범소하천 군집분석

본 연구에서 선정된 시범소하천은 전국의 각 도에 분포되어 각 소하천별 지형학적 특징은 모두 달라, 상대적으로 평균의 차이가 많이 나는 최소값과 최대값을 갖는 소하천들의 상관분석에 그 특징이 제대로 반영되지 않을 수 있다. 따라서 본 절에서는 각 소하천의 특성인자를 표준화하여 다변량 통계분석기법 중 하나인 군집분석을 통하여 특성인자에 따른 시범소하천의 분포를 분석하였다.

이때 사용된 특성인자는 앞서 국가재난관리시스템에서 제공 받은 6개 인자를 모두 사용하였으며, 79개 시범소하천 중 누락 인자가 있는 소하천을 제외한 총 63개 시범소하천만을 추출하고 K-means 군집분석 기법을 이용하여 분석을 수행하였다. 우선 각 인자들을 다음 Eq. (1)을 이용해 표준화하였다.

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

표준화 된 인자는 K-means 알고리즘에서 K개의 군집 중심점을 랜덤하게 생성하는데, 본 연구에서는 Elbow method를 이용하여 최적의 K개의 군집 중심점을 선정하였다. 선정된 결과는 Fig. 5에 나타나듯이 최초의 변곡점으로부터 기울기가 가장 완만해지는 지점인 4개의 군집을 선정하였다.

이후 각 군집 중심에 가장 가까운 인자들을 할당 한 후 군집 중심을 새로 생성하였다. 그리고 새로 생성한 군집 중심이 기존의 중심점과 같아질 때 까지 반복적으로 수행하여 Fig. 6과 같이 시범소하천을 4개의 군집으로 분류하였다.

Fig. 5. Result of Elbow Method Analysis

Fig. 6. Result of K-means Method for Test-bed Clustering

분류된 결과는 규모가 큰 소하천(군집 A-I A-II)과 작은 소하천(군집 B, C)으로 분류되는 것으로 나타났으며, A-I 군집과 A-II 군집은 주로 강원지역에 위치한 유역면적, 최대하폭, 하천연장이 매우 큰 소하천으로 분류 되는걸 확인할 수 있다. 그러나 군집 A-I의 대천천(Daejeon Stream)은 유역면적이 8.67 km²인 반면에 규모가 큰 소하천으로 분류 되었는데, 이는 최대하폭이 108 m로서 전체 시범소하천 79개 중 가장 큰 하폭을 형성하고 있어 군집 A-I로 분류된 것으로 판단된다.

K-means 군집분석은 비계층적 군집방법으로써, 군집의 수, 가중치와 거리 등이 정의가 어렵고, 사전에 주어진 목적이 없으므로 잡음이나 이상값에 영향을 많이 받는 단점이 있다. 따라서 본 절에서는 K-means 군집 분석과 비교를 위해 계층적 군집 분석(Hierarchical Clustering) 중 응집형(Agglomerative Method) 알고리즘을 이용하여 추가적으로 분석을 수행하였다. 계층적 군집 분석은 초기에 군집 개수를 설정하지 않아도 계산되어 타 군집 분석과 차이가 있으며, 사용자가 나타난 결과의 Dendrogram을 보면서 군집의 개수를 설정할 수 있는 장점이 있다.

본 절에서 사용된 응집형 계층적 군집 분석 기법은 Bottom-up 방식으로 하나의 데이터를 하나의 군집으로 보고

가까운 군집들을 병합해 나가는 방식으로 Fig. 7(a)와 같이 거리가 가장 가까운 P_2 , P_3 를 하나의 군집으로 묶고 형성된 P_2 와 P_3 군집이 가까운 P_4 군집으로 묶는다. 최종적으로는 P_2 , P_3 , P_4 군집과 P_1 군집을 묶는 형태이다(Fig. 7(b)).

응집형 계층적 군집분석 알고리즘을 이용한 군집화 결과는 Fig. 8에 나타내었으며, 최종적으로 나타는 군집의 개수는 3개로 형성된 것으로 나타났다. 이는 K-means 군집 분석시 Elbow method로 산정된 4개의 최적 군집 개수를 직접적으로 적용한 결과와 상반된다.

세부적인 군집 결과를 살펴보면 K-means 기법에서 군집 A-I와 군집 A-II가 합쳐져 응집형 계층적 군집 분석 방법에서 군집 A로 결과가 나타나는 것으로 알 수 있다. 그리고 K-means 기법에서의 군집 B와 C의 결과가 응집형 계층적 군집 분석 방법의 군집 B와 C의 결과와 다소 차이가 있으나, 군집 분포가 유사한 것을 알 수 있다.

응집형 계층적 기법 결과 기준으로 시범소하천의 지역별 군집 분포를 살펴보면 군집 A는 강원지역, 군집 B는 경기, 충북,

충남, 전남, 경북, 경남으로 나타났으며, 군집 C는 경북, 경남, 전북, 전남, 충북, 충남으로 분포 되어 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

2018년 개정된 행정안전부 소하천설계기준에는 유역특성, 수리·수문 그리고 하도특성 등 소하천 정보를 조사해야 하며, 소하천 정보시스템의 표준(안)에 따라 데이터베이스를 구축하는 등 적절한 자료 관리가 이루어져야 한다고 언급하고 있다(MOIS, 2018).

본 연구는 이를 위한 기반 연구로써, Cheong et al. (2018)에 의해 개발 완료된 자동유량계측기술을 확대 적용하고, 효율적으로 양질의 소하천 수리·수문 자료 수집을 위해 현장조사를 수행하여 자동유량계측기술 적합 시범소하천을 선정하였다. 최종 선정된 시범소하천 79개소는 60% 이상이(군집 C) 유역면적 1 km^2 이상에서 5 km^2 미만, 하천연장은 1 km 이상에서 5 km 미만에서 분포하는 것으로 나타났다(NDMI, 2019).

Fig. 7. Conceptual Diagram of Hierarchical Clustering (Agglomerative Method)

Fig. 8. Result of Hierarchical Clustering about Test-bed

금회 선정된 시범소하천의 특성인자 6개를 표준화하여 종합적으로 군집분포를 분석한 결과 규모가 크기에 따라 3개의 군집으로 형성되는 것으로 나타났다. 그러나 소하천은 지형학적 특성이 다양하기 때문에 사행도, 토양군, 하상재료 등 다양한 매개변수를 고려할 필요가 있다.

따라서, 소하천 물리환경 특성을 고려한 소하천 분류기법 개발의 후속연구를 통해 전국 소하천의 유형을 분류 한다면, 다양한 자동유량계측기술 시범소하천 선정과 더불어 유형에 따른 소하천설계기준 개정, 재난관리 기술 개발 등에 유용하게 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Chae, B.S., Choi, S.J., Ahn, J.H., and Kim, T.W. (2018). Estimation of flood quantile in ungauged watersheds for flood damage analysis based on flood index of natural flow. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 38, No. 1, pp. 175-182.
- Cheong, T.S., Joo, J.S., Choi, H.S., and Kim, S.J. (2018). Development and evaluation of automatic discharges monitoring technology for small stream monitoring. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 347-355.
- Cho, J.P., Kim, C.G., Hwang, S.W., Shin, J.H., and Park, J.H. (2019). Hydrologic evaluation of grid-based global climate data for use in ungauged watershed. *Journal of Climate Change Research*, Vol. 10, No. 1, pp. 23-34.
- Joo, J.S., and Cheong, T.S. (2019). Development of technology for the automatic flow measurement based on CCTV (CCTV 기반 소하천자동유량계측기술 개발). *Water for Future*, Vol. 52, No. 3, pp. 53-56.
- Kim, J.G., Kim, J.Y., Choi, H.G., and Kwon, H.H. (2018). Estimation of design floods for ungauged watersheds using a scaling-based regionalization approach. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. 9, pp. 769-782.
- Lee, J.H., Park, J.B., Song, Y.H., Jun, H.D., and Lee, J.H. (2017). Estimation of design flood discharge by areal ratio for ungauged basin. *Journal of Wetland Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 335-344.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2016). *Development and construction of a flood forecasting and warning system for medium and small streams: The integration model of flood forecasting for medium and small streams*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2018). *The design criteria for small stream (소하천설계기준)*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2017). *Establishment of the safety design codes based on empirical experiments(II), Part 1*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2018). *Development of automatic flow measurement technology to enhance disaster-safety codes for small stream*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2019). *Advancement of automatic discharge measurement technology to enhance disaster-safety codes for small stream*.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency analysis of extreme events. In D. Maidment (Ed.), *Handbook of hydrology* (pp. 18.1-18.66). New York: McGraw-Hill.

Received	November 12, 2019
Revised	November 14, 2019
Accepted	December 9, 2019