AHP를 활용한 하천 합류부 재해위험성 평가기법 개발

Development of Disaster Risk Assessment Method in River Confluence Using AHP

이삼희* · 윤현철**

Lee, SamHee*, and Yoon, HyeonCheol**

Abstract

A river confluence has the complicated characteristics of flow because of various geographical features. Therefore disaster occurrence possibility in the confluence of two rivers is relatively high compared to the general zone of river channel. In the this study, 3,836 rivers(62 national rivers and 3,774 local rivers) are investigated by using the cad-data(river survey maps), satellite and/or topographic maps to develop disaster risk assessment method for river confluence in macro view. The disaster vulnerable factors(sand bar, drop structure, bridge pier, road on channel and etc.) and the channel characteristics(confluence angle, channel bend, channel linear and etc.) which dominate river confluence are deduced with investigation results. Also, the disaster risk assessment method is developed by using AHP(Analytic Hierarch Process). Based on this method, 73 high risky river confluences are proposed and prioritized.

Key words : River Confluence, Channel Characteristic, Disaster Risk Assessment, AHP

요 지

하천 합류부는 다양한 지질·지형의 영향으로 흐름 특성이 복잡하고 하상변동이 활발해 재해발생 가능성이 상대적으로 높다. 하천 합류부에 대한 재해위험성 평가 기법을 개발하기 위해 거시적 관점에서 총 3,836개(국가하천 62개, 지방하천 3,774개) 하천을 대상으로 도상조사를 실시하였다. 조사 결과를 바탕으로 합류부를 지배하는 지류 유입각, 만곡부, 하도선형 등의 하도특성과 사주, 합류부 낙차공, 교각 및 하상도로 등의 재해취약요소를 도출하였다. 이를 바탕으로 AHP(Analytic Hierarch Process)를 활용한 합류부 재해위험성 평가 기법을 개발하였으며, 조사 대상 구간에서 우선순위를 매긴 최우선 정비대상 73개소를 제시하였다.

핵심용어 : 하천 합류부, 하도특성, 재해위험성 평가, AHP

1. 서 론

우리나라의 일반 하천은 대개 짧은 유로연장이다 경사 변화가 심하며, 다양한 형태의 지류가 유입하면서 하도형태가 비교적 복잡한 양상을 나타낸다. 이러한 지형 특성과 더불어 최근에 이르러 기후변화에 따른 고강도 집중 호우가 점점 하고, 지속적인 유역 개발과 도시화로 강우-유출량의 집중과 증가 경향을 보이고 있다. 그만큼 하천에서 발생할 수 있는 재해발생 위험성이 높아지고, 재해 양상도 복잡해서 재해 예측에 대한 불확실성이 증가하는 추세이다.

이런 가운데 하도 내에서도 홍수해의 빈도, 규모, 불확

실성이 상대적으로 크다고 알려진 곳이 바로 2개 이상의 하천이 만나는 합류부이다. 이는 다음과 같은 이유에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 즉 합류부에서는 홍수위, 유속, 유황, 배수위 영향, 퇴적 혹은 침식, 국부세굴 등의 수리특성과 하폭, 하도경사, 하도형태, 하상재료, 하도형태 등의 하도특성이 서로 복잡하게 얽혀 상호작용하며, 한편 합류부에 여러 시설물이 지속적으로 설치되고 있어 복잡한 흐름 특성과 하상변동 특성을 띠고 있기 때문이다. 이에 따라 합류부에서 재해위험성에 대한 영향을 정확히 파악하고 해석하는 것이 쉽지 않다.

합류부 주변에서 발생한 대표적 피해사례를 살펴보면,

*정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원(E-mail: samhee.lee@kict.re.kr)

Member, Senior Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, KICT

**교신저자, 정회원, 국립재난안전연구원 방재연구실 시설연구사(Tel: +82-52-928-8173 Fax: +82-52-928-8009, E-mail: hcyoon82@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Researcher, Disaster Prevention Research Div., NDMI

임진강 수계의 문산천 하구에서 1996년, 1998년, 1999년 홍수로 막대한 인적 물적 피해가 발생한 것을 들 수 있다. 또한 2002년 루사 태풍 시 낙동강 수계의 신반천 하구에서 범람, 2006년 남강 수계의 지류 합류부에서 배수 영향권 확대로 비롯된 제방 유실과 침수피해 발생, 2011년 경안천 수계의 곤지암천과 목현천 합류부에서 수위상승에 따른 큰 범람 피해가 발생한 바도 있다. 2012년 태풍산바 내습 시에는 낙동강 수계의 감천 하구에서 하상유지공이 유실되기도 하였다(MOLIT, 2016).

이러한 사례는 합류부의 흐름특성과 하도특성을 동시에 정확히 파악해 반영하지 않음에 따라 발생한 상황이라 볼 수 있다. 이미 여러 연구자들도 합류부는 하천관리상 취약한 지역임을 주장을 하면서 이를 둘러싼 현상 규명을 위한 연구를 진행해 왔다. Ahn et al. (2014)은 수치해석모형에 기반하여 합류부 특성에 따른 흐름변화를 분석하였다. Kwak et al. (2017)은 낙동강과 금호강의 합류부를 대상으로 UAV, ADCP, 다항목 수질측정기, LISST를 이용하여 하천 합류부에서 2차원적 수체흐름과 물질혼합 특성을 파악할 수 있는 현장측정기법을 제안하고 적용성을 검토하였다. Jang et al. (2006)은 금강과 미호천의 합류부에서 빈도별 유량조건에 따른 흐름특성과 단기 하상변동에 대해 수치해석법을 기반으로 하여 분석하였다. Hwang et al. (2009)은 낙동강과 금호강의 합류부를 대상으로 2차원 유한요소 해석법을 활용하여 하천단면 변화에 따른 흐름 변화를 분석하였다.

위와 같은 연구 사례에서 알 수 있듯이 대개 합류부 형태에 따른 수위, 유속, 편수위 등 흐름 변화에 대한 수리적 분석이 여서 합류부에 대한 연구가 다소 미흡한 것으로 지적되고 있다. 궁극적으로 수리특성과 함께 합류부의 지형 형상 등 하도특성을 충분히 반영한 해석이 요구되고, 이를 바탕으로 하천의 설계와 관리를 모색할 시점이라 판단한다. 현재까지는 이러한 방식을 반영한 설계지침이 마련되어 있지 않아 실제 실무에서 아직까지 종래 방식에 얽매어 있는 실정이다. 이러하기에 우리나라 하천 합류부에서는 예상치 못한 홍수 피해 위험성이 여전히 높을 것이라 상정할 수 있다. 2015년 개정된 ‘하천기본계획’의 수립 지침 내용을 살펴보면, 기존의 이·치수 중심의 하천관리를 초월해 환경 측면을 배려한 종합적인 하천관리로의 전환이 필요하다고 서두에 제시하였다. 이에 따라서 친환경적인 하천 조성을 위한 하천 설계 즉, 자연형 공법, 생태습지, 어도, 생물 서식처 조성 등이 이·치수를 위한 정비와 함께 병행 추진되고는 있다. 이런 사항들이 종래의 홍수량 대응 중심의 하천설계 방식에 따라 합류부에 적용하게 되면 그만큼 더 재해 위험성이 증폭될 수밖에 없는 처지이다. 그럼에도 불구하고 개정된 하천기본계획에 따라 이루어지고 있는 하천설계에 합류부의 수리특성과 하도특성이 심도 있게 반영되지 않고 있어 합류부에서 타 구간보다 상대적으로 더 재해가 발생할 소지가 있을 것으로 판단한다.

따라서 본 연구에서는 거시적 관점에서 4대강 사업구간을 제외한 전국 국가하천과 지방하천에 대한 도상조사를 실시하고, 하천 합류부에서 재해 유발 가능성을 정량적으로 나타내기 위해 Analytic Hierarch Process (AHP)를 활용하여 하천 합류부의 유형과 특성을 반영한 위험성 평가 기법을 제안하였다. 이러한 정량화된 결과 도출은 중앙부처와 지자체에서 하천에 대한 투자 우선순위를 결정하는 데에 직·간접적으로 활용할 수 있으며, 또한 홍수해 예방과 효율적인 하천관리에 도 도움이 될 것으로 생각한다.

2. 연구방법

2.1 하천 합류부에서 이론적 접근법

하도수리학적 측면에서 하천 합류부에 대한 이론적 배경을 검토하는 데에 흐름에 대한 작용특성을 의미하는 수리특성, 응답특성인 국지 하상변동과 포괄적으로 하안변화를 뜻하는 하도특성으로 나누어 접근하였다. 여기서 수위와 유속으로 대표되는 ‘작용(impact) 인자’는 결국 ‘응답(response) 인자’인 유사 이송, 하상변동, 하천시설물 안정에도 크게 영향을 주는 것으로 간주하였다. 근본적으로는 반대로도 영향으로 미칠 수 있다.

이러한 하도수리학적 시각을 바탕으로 합류부에서 지류 입사각(예각, 직각, 둔각), 만곡부의 외안 혹은 내안으로 합류, 하도의 하폭수심비에 대한 종단 변화율, 하상경사 종단 변곡부 존재 여부, 횡단형태에 따른 퇴적 혹은 침식 양상, 하상유지공 전후 유사거동 양상, 교각 혹은 하상도로 등의 구조물, 산지 등 지형적 특성 등에 주목하였다. 이 항목에 대한 더 구체적인 내용은 MOLIT (2016)에서 참고할 수 있다.

2.2 AHP 기본 이론

AHP는 Satty(1983)의 주관적인 분석과 시스템 접근을 혼합한 의사결정 수단의 하나이다. 이는 의사결정 문제가 복잡하여 해법을 찾는 일이 곤란하거나 다수의 평가기준으로 구성되어 중요도와 우선순위를 판단하기가 여의치 않을 때에 주로 활용된다.

AHP 해석에서 주요 특징은 이와 같은 일대 비교치로 이루어지는 비교행렬 A로부터 각 대상의 개별 평가치를 A의 주 고유벡터(최대고유치에 대한 고유벡터)의 성분에서 얻는 것이다. 여기서 비교행렬 A는 아래 Eq. (1)과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

각 요소를 동질적인 집합으로 군집화하여 상이한 수준으로 배열하고, 동일 수준 내에서 상대적 중요도를 비교하는데 필요한 쌍대비교와 선호지수를 산정해 적합성을 평가(객

관성을 위해 전문가 설문조사 활용)한다.

쌍대비교에 대한 논리적 일관성 여부를 뜻하는 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)과 일관성지수인 Consistency Index (CI)는 행렬의 최대고유치 $\lambda_{\max}$ 와 행렬 크기 n 으로부터 계산할 수 있으며, Eqs. (2), (3)과 같다. RI는 비율이 10% 이하 일 때 일관성이 양호함을 나타낸다.

$$CR=CI/RI \quad (2)$$

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1) \quad (3)$$

AHP 산정 절차에 대한 자세한 설명은 Saaty (1980)을 참고할 수 있다. 그리고 AHP는 Shin et al. (2014)에 의한 Fuzzy AHP를 활용한 도시지역 내수침도 위험도 평가 수행, Choi et al. (2016)에 의한 AHP를 활용하여 댐 재개발 평가항목 평가, Lee et al. (2014)에 의한 물환경 거버넌스를 위해 AHP를 활용한 합의형성 지원시스템의 개발 등에서 볼 수 있듯이 정성적이고 비선형 문제에 대해 정량적으로 평가하는 데 널리 활용되고 있다.

3. 하천 합류부 조사·분석

3.1 연구범위와 방법

본 연구는 총 3,836개(국가하천 62개, 지방하천 3,774개) 하천 내 합류부 3,788개소(국가하천 62개, 지방하천 3,726개)를 대상으로 한다. 이는 4대강 사업구간을 제외한 전국의 국가하천과 지방하천에 해당한다. 합류부 3,788개소에 대한 직접적 분석과 현장조사는 시간, 인력 등에서 제약이 뒤따른다. 그러므로 거시적 관점에서 접근하여 위성지도, 지형도, 홍수해 관련 문헌, 보도자료 등을 토대로 합류부의 물리적 구조와 홍수취약 상황을 하도수리적 이론에 기초하여 조사와 분석을 실시하였다. 이러한 방법은 합류부 전체의 전반적인 특성을 파악할 수 있고, 간편하면서도 합류부의 현안에 대한 정확한 진단이 비교적 가능하다는 측면에서 의미가 있다.

이 결과를 바탕으로 합류부 별 정비대상, 지속관찰(모니터링), 정비 불필요로 구분하고 합류부를 지배하는 평가 요소를 도출하여 재해 위험성 평가를 위한 AHP 계층별 지표를 산정하였다. 지표 별로 하천 전문가 설문조사를 실시해 확보한, 각 지표에 대한 객관적인 평가 결과에 기초하여 정량적 가중치

를 설정하고 이를 활용하여 재해취약성에 대해 정량화하였다.

결과 검증은 3,788개소 합류부의 도상조사에서 도출된 재해 위험성이 높은 순위와 AHP를 활용한 합류부 재해위험성 평가기법을 통해 도출된 재해 위험성 순위를 비교분석하였다.

3.2 하천 합류부 조사·분석

국내의 하천 합류부에 작용하는 지배요소를 거시적 관점에서 도출해야 한다. 이를 위해 합류부를 대상으로 1차 분석 시 현안에 대한 문제점을 평가할 수 있는 규칙을 다음과 같은 수리적 항목을 토대로 설정하였다.

‘유입각도’는 하도 형태를 고정적으로 결정짓는 자연적 지질지형 특성을 떠나 않는 총적하도를 전제로 하였다. 유입 각도에서 예각은 비교적 안정적인 하도형태에 해당하고, 직각은 중상류 하도에서는 불리하나 기수역에서는 유리한 형태이므로 이는 둔각에 견줘볼 때 상대적으로 재해 위험성은 덜하다고 볼 수 있다. 특히 둔각은 본류 흐름의 역방향으로 유입하는 등 본류의 흐름 영향을 직접 받기 때문에 지류의 하구역에서 배수위 영향권이 커질 뿐만 아니라 지류 하구에서 유사이송 능력이 큰 폭으로 감소하여 하구 막힘 현상을 유발해 합류부 부근에서 재해 위험성을 증대시킨다. 그리고 본류의 ‘하도평면형태’에서는 직선하도로 유입하는 경우보다 만곡부 외안 혹은 내안으로 유입하면 지류 하구의 흐름과 국지 하상변동에 악영향을 끼친다. 즉 본류 만곡부의 외안으로 지류가 유입하면 본류의 편수심 영향을 받아 지류 방향으로 배수위 영향이 확대되어 홍수위 상승과 합류부 퇴적 발생에 따른 통수단면 축소 등을 유발한다. 만곡부 내안은 만곡부 외안보다는 안정적이나 지천사주 등의 발달 혹은 하구 폐색 등이 발생하여 지류의 흐름 장애를 유발할 수도 있다. ‘지질지형 특성’으로는 합류 지점의 측안 혹은 양안이 절벽이나 산지로 이루어져 있어 홍수위가 상승하더라도 자연제방 역할을 하므로 하도가 안정적이어서 정비가 불필요하다. ‘연안 하구’는 해안가에 위치한 하천에서 주로 볼 수 있는데 흐름의 종착지가 바다나 호소 등 정체수역이어서 해수위나 호수위 등 정체수역의 수위 영향을 절대적으로 받는 경우를 설명한다. ‘보 및 낙차공’은 그 위치 조정이 필요하거나 철거, 보수, 이전, 신규설치 등이 필요한 경우를 설명한다. 하천 내 ‘하상도로’는 철도교, 도로교 등과 같이 흐름에 장애를 초래할 수 있는 하천구조물을 지칭하며 합류부에서 과도한 시설물이 설치된 경우를 의미한다.

Table 1. Investigation Format

River name	Han river basin			River grade	Maintenance existence or nonexistence			Cause	Master plan existence or nonexistence
	Main stream	First tributary	Second tributary		○	△	×		
Heung-jeon river	Han river	Pyeongchang river	Heung-jeon river	Local	○			Acute angle, an outward bends, levee heightening	Establishment

위와 같은 규칙을 홍정천의 사례로 나타낸 Table 1과같은 양식에 따라 적용하여 설명하면 다음과 같다. 홍정천은 한강 수계의 제2지류로서 제1지류인 평창강으로 합류한다는 것을 의미하며 지방하천이다. 하천관리자와 전문가 그룹의 판단 등에 따라 정비 유무가 가려지는데, ‘정비유무 항목’에서 ○는 정비 대상, △는 지속관찰(모니터링) 대상, ×는 정비 불필요를 나타낸다. 정비 대상은 현지점에서 합류부 개선이 필요하며, 지속관찰(모니터링)은 시간 경과에 따라 합류부에서 문제될 수 있어 지속적인 관찰이 필요하다는 것을 의미한다. 그래서 홍정천에서 하천정비가 필요하다고 판단한 1차 판단 사유로서는 홍정천 하구역은 충적부이며 하구 유입각이 둔각이고 평창강의 만곡부 외안으로 유입하기 때문이다. 본류가 만곡하도이면 전술한 바와 같이 만곡에 따른 본류하도 내 형성되는 2차류 흐름 영향으로 합류부가 편수심의 영향을 받기 때문이다. 이러한 경우 실제 편수심을 고려한 제방고가 필요하므로 제방고에 대한 상세한 검토가 필요하게 된다. 한편, ‘하천기본계획 수립 유무’의 항목은 하천기본계획이 미수립 지역보다 수립하였음에도 불구하고 재해발생 시 피해 규모가 더 커질 가능성이 높아 가중치를 반영하기 위함이다.

Fig. 1. National Rivers

위와 같은 분석 절차를 전국 하천 합류부에 적용하였고, 그 결과 도출된 합류부 지배요소는 다음 절에서 제시한다.

4. AHP 계층구조화 및 분석결과

4.1 하천 합류부 지배요소 도출

1차 조사와 분석을 실시한 결과, 정비와 지속적인 관찰이 필요한 합류부는 총 408개로 추출되었다. 이는 전국 합류부 총 3,788개소 중 약 11%에 해당한다. 국가하천에서는 Fig. 1과 같이 총 62개소 합류부 중 17개는 정비 대상이며 2개소는 지속관찰(모니터링) 대상, 나머지 43개소는 정비가 불필요한 것으로 나타났다. 지방하천은 Fig. 2와 같이 합류부 3,726개소 중 정비 대상은 368개소이고 지속관찰(모니터링) 대상은 21개소이다.

국가하천과 지방하천 합류부의 정비대상 지역 385개소(지속관찰 대상인 △은 제외)에 대한 지배요소를 정리한 결과는 Table 2와 같다. 즉 하천의 유입각도, 만곡부 와내안 유입 여부, 하천변 교각, 하상도로, 사주, 하도선형, 낙차공, 하천변 교각 및 하상도로 등 흐름에 영향을 줄 수 있는 인자로 이루어져 있다.

Fig. 2. Local Rivers

Table 2. Investigation Results

Basin (River)	Main characteristics					Maintenance Needs and method							
	Confluence angle			Bend	Block section of estuary, branch river sand bar	Improvement of channel linear		Levee heightening	Dredging	Expansion width of stream channel	Drop structure installation	River maintenance	Excessive roads on channel
	Acute	Right	Obtuse			Jetty	Spur dyke						
Han	27	30	12	10	12	24	15	4	30	4	4	2	2
Nakdong	23	19	31	36	46	26	3	11	65	1	6		3
Geum	53	37	36	41	34	24	19	1	108	2	2		
Yeongsan	15	7	6	3	6	15	2	1	20	1	2		1
Seonjin	17	12	19	12	9	24	2	0	31	1	5		3
Sum	135	105	104	102	107	113	41	17	254	9	19	2	9

Table 3. River Characteristics Index

Top layer/CI		Second-Layered Index	CI	Third-Layered Index	Weight	CI
Geomorphic Characteristics	0.02	Angle of Incidence 0.37	0.03	Obtuse Angle	0.54	0
				Right Angle	0.30	
				Acute Angle	0.16	
		Channel Linear 0.28		The Longest Path in Bends	0.54	0
				The Shortest Path in Bends	0.30	
				Straight Channel	0.16	
		River Slope 0.20		Steep Slope more than 1/60	0.53	0.03
				Mid Slope (1/60-1/400)	0.33	
				Mild Slope more than 1/400	0.14	
		Estuary Geography 0.15		Both Banks having Natural Topography	0.16	0
				One Side Bank having Natural Topography	0.30	
				Alluvial Landform / Maintenance River Channel	0.54	
Physical Characteristics	0.02	Hydraulic Characteristic 0.67	0	Inflection Point	0.49	0.05
				D(B/H) / DX>0 Gradually Extended Channel Section	0.25	
				High Flow Plain Section	0.15	
				None	0.10	
		Main Bed Material 0.33		Boulder, Bedrock	0.45	0.02
				Gravel	0.28	
				Sand	0.16	
				Silt	0.10	
Flood Risk	0.02	Potential Flood Risk 0.33	0	A(~20%)	0.10	0.02
				B(~40%)	0.13	
				C(~60%)	0.18	
				D(~80%)	0.26	
				E(~100%)	0.32	
		Potential Flood Damage 0.33		A(~20%)	0.10	0.02
				B(~40%)	0.13	
				C(~60%)	0.18	
				D(~80%)	0.26	
				E(~100%)	0.32	
		Past Flood Damage Occurrence 0.33		Designation of Repeated Inundation damage Region	0.40	0.02
				Three Times	0.20	
				Twice	0.17	
				Once	0.12	
				None	0.11	
Human-Social Characteristics	0.02	Subject Area Status 0.75	0	Prearranged Development Zone (Management Area)	0.14	0.02
				Medium Scale City / ffactory Zone	0.25	
				Metropolitan City	0.39	
				Agricultural and Forestry Area	0.08	
				Agricultural and forestry area Closest to Urban (Eup / Myeon / Ri)	0.14	
		Cultural Assets Status 0.25		More than 3sites	0.37	0.02
				2sites	0.28	
				1site	0.23	
				None	0.12	
				Policy · Plan Characteristics	0.02	
National+Local	0.25					
Local+Local	0.15					
Existence	0.75					
Master Plan Existence or Nonexistence 0.33	Nonexistence	0.25				

Table 4. Disaster Vulnerable Index

Top Layer / CI		Second-Layered Index	Weight	CI
Sedimentation / River Bed Growth 0.19	0.03	Local Area	0.3	0
		Wide Area	0.54	
		None	0.16	
Scour / River Bed Decline 0.19		Local Area	0.3	0
		Wide Area	0.54	
		None	0.16	
Bridge, Railroad bridge, Road on River Bed, etc. 0.05		More than 3	0.45	0.02
		2	0.29	
		1	0.14	
		None	0.12	
Structure in River 0.11		Intake Weir	0.45	0.02
		Drop Structure	0.28	
		Etc	0.16	
		None	0.1	
Private Use in River 0.07		Facility (Building, etc.)	0.54	0
		Farmland	0.3	
		None	0.16	
Estuary 0.29		Block Section in Estuary	0.54	0
		Sand Bar	0.3	
		None	0.16	
Tributary Confluence 0.11		More than 4	0.42	0.02
		3	0.29	
		2	0.18	
		1	0.11	

4.2 지표 계층화 및 가중치 산정

전국 하천 합류부 조사 결과를 바탕으로 도출된 지배요소들을 지표화하였다. 이들 지표들은 AHP 분석을 위해 다음 2가지 큰 카테고리로 설정하였고 카테고리 성격에 맞게 계층화하여 다시 세부 지표들을 재분류하였다. 카테고리 별로 선정된 지표의 상대적인 정량적 가중치 산정은 객관성 있는 쌍대비교를 위해 국내 하천전문가 약 30명을 대상으로 실시한 설문조사 결과를 반영하였다. 통계적 의미를 고려해 30명을 대상으로 하였으나, 표본수가 늘어나면 다소의 오차가 발생할 수도 있을 것이다.

여기서, 제 1 카테고리는 하천 합류부 현안 특성을 나타내며 3계층구조로 5개 최상위 지표와 그 하위 13개 지표, 마지막으로 세부지표 49개로 구성하였다. 지형·지질 특성, 수리·물리 특성, 홍수위험도, 인문사회특성, 정책·계획적 특성으로 구성하였다. 이는 이론적인 일반론과 현재 하천 합류부 현안 특성을 나타내는 지표로 구성되며 Table 3과 같다. 제 2 카테고리는 하천 합류부 재해유발 위험성을 나타내며 2계층 구조로 7개 최상위 지표와 그 하위 세부지표 24개로 구성하였다. 세굴 혹은 침식 발생 여부, 하천하도 내 구조물 현황, 하천점용, 하구, 지류합류 현황으로 재해유발 위험성을 나타내는 지표로

구성되며 Table 4와 같다.

5. 합류부 재해위험성 평가 기법 개발

합류부 재해 위험성에 대한 평가 방법은 정비 우선순위가 48위인 만경강-익산천 합류부를 예시로 제시한다. 우선 Table 5와 같이 제4장에서 산정한 제 1카테고리인 합류부 현안 특성은 가로축에 배치하고 제 2카테고리인 재해유발 위험성은 세로축에 배치하였다.

지형자료와 위성자료를 검토하고 현장조사도 실시하였다. 익산강은 둔각 방향으로 만경강의 만곡부 외안 지점으로 합류하며 하천 경사는 1/400 이상의 완만한 경사를 이룬다. 익산천 하구형태는 충적지형으로써 정비되었으며 국지 퇴적이 일부 발생하고 있다. 이러한 내용을 평가에 반영해 산정한다. 즉 입사각이 둔각이고 퇴적이 국소적이므로 그 값은 입사각의 상위 계층인 지형특성 가중치 0.39, 입사각 가중치 0.37, 둔각 가중치 0.54를 곱하고 퇴적(하상상승) 가중치 0.19, 국소적 하상변동(국소) 가중치 0.3을 곱한다. 결과적으로 5가지의 값을 교차하여 곱한 결과를 백분율을 주어 나타내면 0.442이다. 이와 같은 방법으로 지표 각각의

River Name			Mangyonggang-Iksan River						Total Score			7.20																
Division				Sedimentation / River Bed Growth 0.19			Scour / River Bed Decline 0.19			bridge, Railroad bridge, Road on River Bed, etc. 0.05				Structure in River 0.11				Private Use in River 0.07			Estuary 0.29			Tributary Confluence 0.11				Horizontal score
				Local Area 0.3	Local Area 0.3	None 0.16	Local Area 0.3	Wide Area 0.54	None 0.16	More than 3 0.45	2 0.29	1 0.14	None 0.12	Intake weir 0.45	Drop Structure 0.28	Etc 0.16	none 0.1	Facility (Building, etc.) 0.54	Farmland 0.3	None 0.16	Block Section in Estuary, 0.54	Sand Bar 0.3	none 0.16	More than 4 0.42	3 0.29	2 0.18	1 0.11	
Geomorphic Characteristics	Angle of Incidence 0.37	Obtuse Angle	0.54	0.4442			0.4442					0.0468			0.0857			0.0873		0.6779						0.0943	1.88	
		Right Angle	0.30																									
		Acute Angle	0.16																									
	Channel Linear 0.28	The Longest path in Bends	0.54	0.3361		0.3361					0.0354				0.0649			0.0660		0.5130						0.0714	1.42	
		The Shortest path in Bends	0.30																									
		Straight Channel	0.16																									
	River Slope 0.20	Steep Slope more than 1/60	0.53																									
		Mid Slope(1/60-1/400)	0.33																									
		Mild Slope more than 1/400	0.14	0.0622		0.0622					0.0066				0.0120			0.0122		0.0950						0.0132	0.26	
	Estuary Geography 0.15	Both banks having Natural Topography	0.16																									
One side bank having Natural Topography		0.30																										
Alluvial Landform / Maintenance River Channel		0.54	0.1801		0.1801					0.0190				0.0347			0.0354		0.2748						0.0382	0.76		
Physical Characteristics	Hydraulic Characteristic 0.67	Inflection Point	0.49																									
		D(B/H)/DX=0 Gradually Extended Channel Section	0.25																									
		High Flow Plain Section	0.15	0.0917		0.0917					0.0096				0.0177			0.0180		0.1399						0.0195	0.39	
		none	0.10																									
	Main Bed Material 0.33	Boulder, Bedrock	0.45																									
		Gravel	0.28																									
		Sand	0.16	0.0482		0.0482					0.0051				0.0093			0.0095		0.0735						0.0102	0.20	
		Silt	0.10																									
Flood Risk	Potential Flood Risk 0.33	A (~20%)	0.10																									
		B (~40%)	0.13																									
		C (~60%)	0.18																									
		D (~80%)	0.26	0.0440		0.0440					0.0046				0.0085			0.0086		0.0672						0.0093	0.19	
		E (~100%)	0.32																									
		Potential Flood Damage 0.33	A (~20%)	0.10																								

Table 6. 73 High Risk River Confluences

Division	Ranking	Tributary		Master plan	Score
Han	1	Munsan River	Nation	2011	12.45
Han	25	Mokhyeon River	Nation	2012	8.47
Han	26	Heungjeong River	Local	2003	8.41
Nakdong	27	baekja River	Local	Nonexistence	8.34
Yeongsan	28	Gwangju River	Nation	2004	8.26
Han	29	Daedeok River	Local	2004	8.23
Han	43	Yongdu River	Local	2004	7.37
Seonjin	44	Jungsan River	Nation	1998	7.32
Mangyeong	47	Iksan River	Local	1995	7.20
Han	73	Sangohyang River	Local	2012	4.24

해당 가중치를 교차하여 곱한 후 가로 소계 란에서 같은 가로줄 간의 값을 합산하고, 이와 같이 최종적으로 합산한 값들의 총합을 점수로 나타내면 만강강으로 유입하는 익산천 합류부는 7.20이다.

이런 식으로 평가하여 구한 조사대상 전체 합류부의 값은 최고 24.82, 최저 2.13의 범위를 가진다. 궁극적으로 본 연구에서 개발한 재해 위험성 평가 기법을 활용하여 최우선 정비대상 73개 하천 합류부에 대한 우선순위를 평가하였다. 그 결과를 요약하면 Table 6과 같다.

6. 결 론

본 연구에서 총 3,836개(국가하천 62개, 지방하천 3,774개) 하천 내 3,788개 합류부(4대강 사업구간을 제외한 전국의 국가하천 62개와 지방하천 3,726개에 해당)를 대상으로 도상조사를 실시하여 수리학적 이론에 기초하여 합류부 지배인자들을 도출하였다. 도출된 지배인자를 바탕으로 AHP 분석에 필요한 합류부 현황과 하천 합류부 재해유발 위험성의 두가지 큰 카테고리를 구분하고 각 카테고리 별로 계층화한 후 전문가 집단을 대상으로 설문조사를 실시해 가중치를 산정하였다. 두 카테고리는 각각 가로축과 세로축에 배치하고 세로축에 해당하는 지표와 가로축에 해당하는 지표가 교차하는 지점에서 각각의 지표를 곱해서 그 점수를 반영해 점수를 산정하였다. 이런 평가 절차를 거쳐 산정한 최우선 정비대상 73개소에 대해 정비 우선순위를 결정할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 재해 위험성 평가 기법으로 국내 하천에 대한 전반적인 재해 위험성을 거시적으로 판단할 수 있을 뿐만 아니라 전체적인 하천 합류부에 대한 경향을 알 수 있다는 점에서 의미를 찾을 수 있을 것이다. 또한 효율적이고 합리적인 하천관리에도 도움이 될 것으로 판단한다. 하지만 이러한 접근법은 하천 합류부에 대한 현장조사 결과가 아닌 도상조사, 수치지도, 위성지도 등 내업성결과를 토대로 주로 판단한 것이다. 따라서 실제 하천 합류부는

매우 복잡한 수리적 특성이 상충하는 곳이기 때문에 본 연구에 개발한 기법을 활용하면서 수리실험이나 수치해석이 병행된다면 하천합류부에서 시행착오를 줄일 수 있어 바람직한 방향으로 하천의 설계와 관리를 지향할 수 있을 것이다.

감사의 글

국토교통부(MOLIT, 2016), 하천 합류부 안정화 방안 연구 보고서.

References

- Ahn, S.S., Moon, S.C., Park, D.I., and Kim, J.K. (2014). Analysis of flow characteristics in channel junction river. *Proceedings of 2014 Annual Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 895-896.
- Choi, J.H., Kim, J.S., Kwon, J.H., and Moon, Y.I. (2016). Weighting assessment on evaluation indicators of dam rehabilitation using the AHP analysis. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 5, pp. 381-389.
- Hwang, J.H., Han, K.Y., Nam, K.Y. and Choi, S.Y. (2009). The 2D finite element analysis in Nakdong-Kumho River junction using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 12, No. 3, pp. 21-34.
- Jang, C.L., Kim, J.K. and Ko, I.H. (2006). Numerical simulation of flow and bed change at the confluence of the Geum River and Mihocheon. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 91-113.
- Kwak, S.H., Lee, K.S., Cho, H.I., Seo, Y.J., and Lyu, S.W. (2017). Field measurement of suspended material distribution at

- the river confluence. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 37, No. 2, pp. 467-474.
- Lee, J.H., Yi, C.S., and Kim, G.H. (2014). A consensus-building support system for water environment governance based on multi-criteria decision making. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 7, pp. 573-585.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport). (2016). *The study report on the stabilizing method in river confluence*.
- Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1983). Priority setting in complex problems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 30, No. 3, pp. 140-155.
- Shin, J.Y., Park, Y.J., and Kim, T.W. (2014). Evaluation of inland inundation risk in urban area using fuzzy AHP. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 9, pp. 789-799.

Received	November 5, 2018
Revised	November 6, 2018
Accepted	November 19, 2018