

홍수피해잠재능(PFD) 평가

정성원¹⁾, ○이대희²⁾, 문용주³⁾, 김규호⁴⁾

1. 서론

2000년 수자원장기종합계획 수립시 치수종합계획이 새로이 추가되었으며, 2001년부터 유역종합 치수계획이 진행되어 수계 단위의 종합적인 치수계획이 수립될 예정이다. 이를 위해서는 단위구역의 특성을 파악하고 이들 간의 특성을 비교함으로써 전국 또는 수계 단위의 치수계획을 원활히 수립할 수 있는 수단이 필요하다. 그러나 현재 치수사업 수립시 사업의 내용이나 투자우선순위를 결정하기 위해 일반적으로 치수경제성 방법을 이용하고 있으나 이는 특정 지역 규모의 치수 사업의 계획에 적합한 방법으로, 전국 또는 수계 단위의 대규모 치수계획을 수립하는 데에는 치수경제성 기준의 부적절, 분석자료의 방대함 등으로 적합하지 못하다.

따라서 단위구역별 치수특성을 파악하고 단위구역간 치수 투자우선순위를 산정하거나, 대규모 단위의 치수종합계획을 수립하기 위한 방법이 필요하다. 이번 연구에서는 이를 위한 판단 척도로서 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage ; PFD, 이하 PFD라 함)의 개념을 도입하고 적용 사례를 예시하고자 한다.

PFD는 치수계획을 수립하는데 있어서 기존의 치수사업에서 치중했던 선 개념이 아닌 면 개념을 도입하여 공간적인 비교가 가능하도록 하였으며, 수문 요소뿐만 아니라 사회경제적인 요소까지 포함하여 단위구역의 치수 특성 및 사회경제적인 가치를 함께 판단하고자 하였다. 이를 적용하기 위한 단위로서 설정된 치수단위구역은 유역 중심으로 분할된 수자원단위구역을 기초로 하여 전국을 150개의 구역으로 구분하여 PFD를 산정하였다. 또한, 유역별 특성을 비교 판단할 수 있도록 PFD를 구성하는 잠재성(지역 중요도)과 위험성(홍수피해 가능성)을 기준으로 4개의 그룹으로 분류하여 구역별 치수특성과 투자우선순위를 결정하기 위한 참고자료로서 활용할 수 있도록 하였다.

2. 기본개념

PFD는 특정 치수단위구역의 잠재적인 홍수피해 취약 정도를 나타내는 지수이다. 이는 홍수로 발생할 수 있는 잠재적인 피해 정도를 나타내는 잠재성 요소와 홍수피해가 발생할 가능성과 이에 대한 방어능력 정도를 나타내는 위험성 요소로 구성된다. PFD 산정을 위한 각 요소별 세부항목은 표 1과 같으며, 각 인자들을 이용한 PFD 산정식은 식 (1)과 같다.

각 세부항목별 지수 값은 이론상 0~1의 값을 가진다. 잠재성 및 가능성의 세부항목들은 원자료의 값이 클수록 홍수피해잠재능도 커지므로 각 세부항목의 지수 값은 커지게 되며, 방어능력의 세부항목들은 원자료의 값이 클수록 홍수피해잠재능은 작아지므로 지수 값은 작아지게 된다.

3. PFD 산정

PFD를 산정하기 위해 전국을 150개의 치수단위구역으로 나누어 세부항목별 자료를 구축하고, 이를 이용하여 치수단위구역별 PFD를 산정하였다. 산정된 PFD는 잠재성과 위험성을 기준으로 그

1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원 (E-mail: swjung@kict.re.kr)

2) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail: davelee@kict.re.kr)

3) (주)다산컨설팅트 수자원부 (E-mail: yjmoon12@chollian.net)

4) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원 (E-mail: khkim1@kict.re.kr)

표 1. PFD 구성요소 및 산정식

요소	잠재성, F_{PO}	위험성, F_{RI}	
		가능성	방어능력
세부항목	<ul style="list-style-type: none"> · 인구 밀도, F_{PD} · 자산, F_{PF} · 도시화율, F_{RUB} · 사회기반시설 밀도, F_{SOC} 	<ul style="list-style-type: none"> · 홍수피해액 밀도, F_{FD} · 확률강우량, F_{PR} 	<ul style="list-style-type: none"> · 외수방어능력, F_{CI} · 댐 및 저수지, F_{DAM} · 내수방어능력, F_{PUMP}
PFD 산정식	$\begin{aligned} PFD &= F_{PO}^{\alpha_1} \times F_{RI}^{\alpha_2} \\ &= [\beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{RUB} + \beta_4 F_{SOC}]^{\alpha_1} \\ &\quad \times [\beta_5 F_{FD} + \beta_6 F_{PR} + \beta_7 F_{CI} + \beta_8 F_{DAM} + \beta_9 F_{PUMP}]^{\alpha_2} \end{aligned} \quad (1)$ <p>여기서, α_i 및 β_i는 지수별 가중계수.</p>		

롭으로 나누어 치수단위구역별 치수특성과 수계 단위의 치수계획을 수립하기 위한 판단 자료로 사용할 수 있음을 검토하였다.

3.1 치수단위구역 설정

전국을 대상으로 PFD를 산정하기 위한 치수계획의 기본 단위로서 치수단위구역을 설정하였다. 치수단위구역은 유역의 동질성뿐만 아니라 사회경제적인 동질성을 고루 갖추어야 한다. 이를 충분히 고려하기 위해서는 많은 조사가 필요하므로 이번 연구에서는 개략적으로 치수단위구역을 설정하였으며, 보다 정밀한 분석과 분할은 유역종합치수계획에서 수행하는 것으로 한다.

이번 연구에서는 치수단위구역을 한국수자원공사(1999)에서 우리나라 전체를 117개로 구분한 유역 중심의 수자원단위지도의 중권역을 기본으로 대도시 지역을 세분하여 150개로 설정하였다.

3.2 PFD 세부항목별 자료 구성

PFD의 세부항목별 자료 구성은 시·군별로 자료를 구축하여 치수단위구역별로 환산하였다. 치수단위구역으로의 환산은 시·군별 치수단위구역의 편입 면적비를 이용하였다. 또한 인구, 홍수피해 및 사회기반시설 현황은 치수단위구역의 면적으로 나눈 밀도 개념으로 산정하였다.

잠재성 요소 중에서 인구 밀도는 통계청 시도별 추계인구를 이용하였으며, 자산은 공시지가가 자산을 대표한다고 가정하여 단순화하였다. 도시화율은 시도별 통계연보 자료를 이용하여 토지이용 현황 중 불투수성 면적을 도시지역으로 가정하여 산정하였으며, 사회기반시설 밀도는 도로, 철도 및 교량으로 대상을 한정하였다.

위험성 요소 중에서 홍수피해액 밀도는 재해연보를 이용하여 최근 20년의 평균으로 구성하였으며, 확률강우량은 한국확률강우량도를 이용하여 산정하였다. 개수율은 하천일람 자료를 이용하였으며, 댐 및 저수지는 댐 영향을 받는 구간인 댐하류부 본류만 대상으로 하여 유역면적비로 산정하였다. 내수방어능력은 평프장의 개수 및 용량으로 자료를 구성하였으나 자료가 불충분하고 평프장의 용량만으로는 내수방어능력을 대표하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어 모든 치수단위구역에 대해 동일하게 '1'을 부여하여 인자로 포함하였다. 따라서 추후 이를 이용할 때에는 내수방어능력을 대표하는 자료의 구축이 필요하다.

자료의 기준 연도는 입수 가능한 가장 최신 자료와 일관성 있는 자료를 이용한다는 원칙 아래

1999년으로 통일하였으며, 통합시군 및 행정구역의 변경사항은 1998년 12월 기준으로 환산하였다.

3.3 PFD 산정 과정

PFD의 세부항목은 단위와 분포특성이 다르기 때문에 구축된 자료를 무차원화함으로써 균일한 자료 특성을 갖도록 하였다. 이를 위해 세부항목별로 구축된 자료에 대해 확률분포형을 추정하고 누가확률밀도함수를 이용하여 자료를 무차원화하였다. 적합성 검증을 통해 선정된 적정 분포형은 Log-Pearson III 분포형이며, 이를 이용하여 세부항목별로 자료를 무차원화하였다.

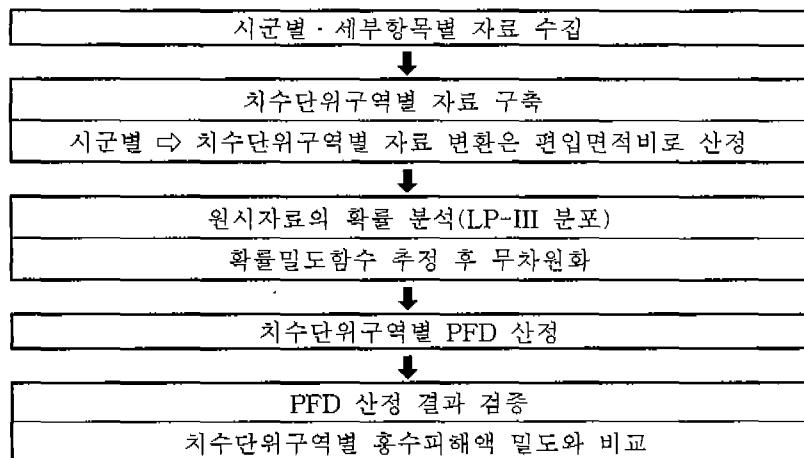


그림 1. PFD 산정 흐름도

PFD 산정식의 잠재성과 가능성 요소의 가중계수 α_1 과 α_2 는 상대적인 비중을 같게 놓아 각각 0.5로 결정하였다. 세부항목별 가중계수 β 값은 요소별로 구분하고, 지수별 중요도를 고려하여 초기 값을 부여한 후, 시행착오 방법으로 최종치를 결정하였다. 최종적으로 결정된 세부항목별 가중계수 β 값은 표 2와 같다.

표 2. 세부항목별 가중계수 β

구 분	잠재성				위험성				
	인구밀도	자산	도시화율	사회간접 시설밀도	홍수피해액 밀도	확률 강우량	외수방어 능력	댐 및 저수지	내수방어 능력
β	0.4	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1

무차원화된 지수 중 인구밀도 지수와 홍수피해액 밀도 지수의 공간분포는 각각 그림 2 및 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 인구 밀도는 대하천의 하류부가 크게 나타나고 있으며, 과거 홍수피해 발생은 한강 중하류와 임진강, 낙동강의 영강과 하류, 금강의 중류와 하류, 영산강 하류, 섬진강 하류, 그리고 중소하천인 태화강, 형산강, 안성천 등에 집중되어 있음을 알 수 있다. 그 외에 잠재성 요소의 다른 항목은 인구 밀도 지수와 유사한 분포를 나타내었다.

위험성 요소 중 개수율 지수는 최근의 집중호우로 피해를 입어 개수가 집중적으로 이루어진 치수단위구역이 낮은 값을 나타내었다.

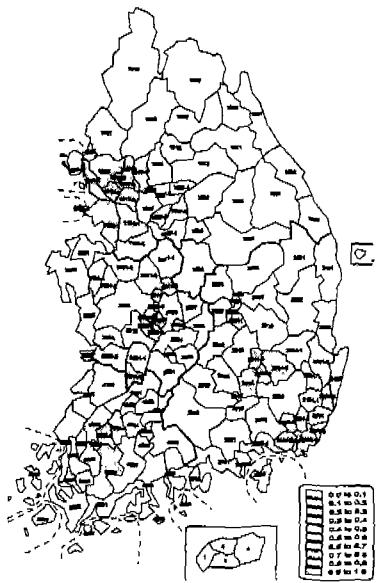


그림 2. 인구 밀도 공간분포

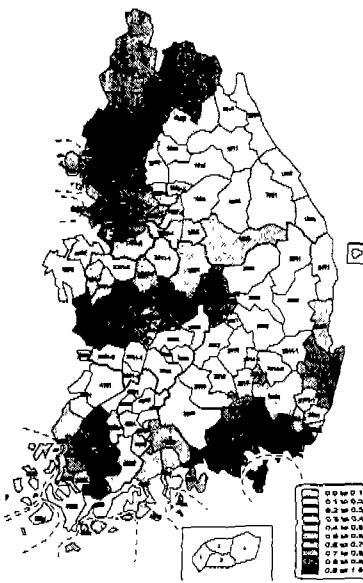


그림 3. 홍수피해액 밀도 공간분포

3.4 PFD 산정 결과

PFD의 산정 결과는 그림 4에 홍수피해액 밀도 지수와 비교하여 치수단위구역별 경향을 도시하였으며, 그림 5는 전국적인 공간 분포를 나타내고 있다. 산정된 PFD의 결과로 볼 때, 한강 하류부, 낙동강 하류부 및 금강 중하류부의 치수단위구역이 높은 수치를 나타내고 있어 실제적인 홍수 위험 지역을 적절하게 나타내고 있다. 그러나 제주도를 포함한 도서 지역과 남서 해안 지역의 PFD는 유역 하류나 도시지역과 같이 높게 나타나고 있는데 이러한 결과는 잠재성 요소의 항목과 위험성 요소 중 가능성의 각 항목별 지수는 크지만 홍수시 바로 바다로 유출되어 홍수방어능력이 높지 않아도 되는 지역적인 여건을 산정식에서 제대로 고려하지 못하기 때문이다. 따라서 실제로는 위험도가 높지 않으므로 치수계획시 별도의 해석이 필요하다.

산정된 PFD를 홍수피해액 밀도와 비교한 그림 4에서 보는 바와 같이 전체적인 경향이 유사하고, 개별 치수단위구역별로도 단위구역 특성을 대체로 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

산정된 PFD는 지수별로 무차원화하는 과정을 거쳤기 때문에 치수단위구역의 절대적인 특성을 나타내는 것이 아니라 치수단위구역간의 상대적인 특성을 나타내고 있으므로 PFD가 낮다고 해서 치수계획이 수립될 필요가 없다는 것을 의미하지는 않는다. 그러므로 치수단위구역을 유사한 특성별로 나누어 유형화하고, 유형별 치수단위구역에 대해서 그 특성에 적합한 치수계획의 방향을 수립하는 것이 유용할 것이다. 치수단위구역의 특성에 따른 분류는 다양한 전문가들 사이의 의사 소통

을 원활하게 이끄는 부수적인 효과도 있다. 이러한 목적으로 150개 치수단위구역을 잠재성 요소와 위험성 요소의 크기를 기준으로 4개 그룹으로 구분하였다.

그림 7은 150개 치수단위구역별 잠재성 요소와 위험성 요소를 좌표에 도시하여 그룹화한 결과를 나타내고 있으며, 그림 6은 각 그룹별 공간 분포를 나타내고 있다.

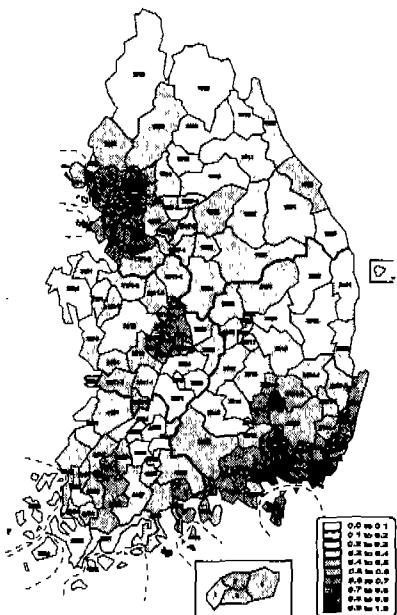


그림 5. PFD의 공간분포

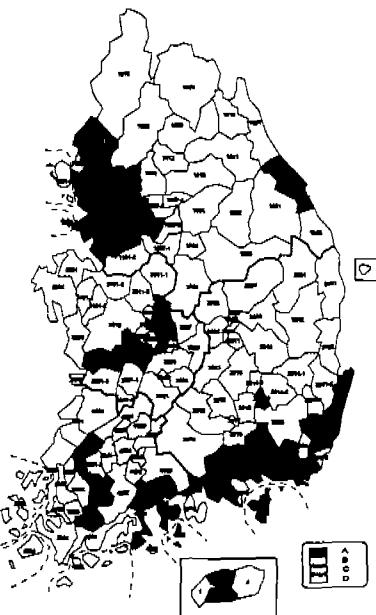


그림 6. 그룹화의 공간분포

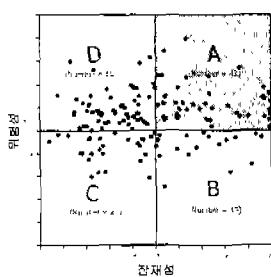


그림 7. 그룹화 결과

- A 그룹 : 홍수방어시설의 강화가 필요하며 주로 구조적 대책에 의한 치수 사업 전개
- B 그룹 : 홍수방어시설 설치가 필요하고 치수안전도의 상향 조정이 필요하지만, 구조적 대책과 함께 비구조적 대책 병행 보색
- C 그룹 : 자연친화적 사업과 병행될 수 있는 방향으로 유도
- D 그룹 : 상류지역의 범람에 의해 하류지역의 홍수 부담 감소를 모색하는 등 지역적인 여건을 고려한 대책 마련

4. PFD의 활용 방안

(1) 치수단위구역별 치수특성 파악

PFD의 산정으로 치수단위구역의 전체적인 홍수 피해의 위험성을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 PFD 산정을 위해 구성된 요소별, 세부항목별 지수는 각 치수단위구역의 치수 취약 부분과 홍수에 대해 민감한 부분을 집어낼 수 있다. 이러한 치수단위구역별 치수 특성의 정량화는 전국적인 공간 비교를 가능하게 한다.

(2) 그룹화에 의한 차별화된 치수계획 수립방향 제시

치수단위구역을 그룹화(A, B, C, 그리고 D)함으로써 치수계획의 방향과 성격을 결정하는데 활용 될 수 있다. A그룹에 속하는 도시하천 유역은 치수종합계획이 시급한 상태이고, 자체적인 치수계획

만으로는 홍수방어나 사업규모 측면에서 무리가 있을 경우 상류 치수단위구역의 특성에 따라 D그룹에 속하는 상류부 유역에서 홍수를 분담하는 등의 계획을 추진할 수 있다.

(3) 수계 단위의 치수계획 수립에 활용

치수단위구역의 특성, 수계 전체에 대한 공간 비교, 그룹화에 따른 치수단위구역의 치수계획 수립방향 등을 파악할 수 있으므로 PFD가 높은 수치를 가지는 집중지역(Damage Center)을 중심으로 수계 전체에 대해 지역적인 균형과 조정을 거치는 치수계획을 수립할 수 있다.

(4) 투자우선순위에 대한 정량화

치수사업의 우선순위는 홍수피해가 일어날 가능성과 지역적인 중요도에 달려 있다. 현재 우리나라의 치수사업은 주로 최근에 큰 피해를 입은 지역에 집중되고 있다. 이는 한정된 투자재원 속에서 최근 피해가 없었더라도 실제 홍수피해잠재능이 큰 지역에 대한 치수사업을 원활하게 수행할 수 없는 결과를 초래할 수 있다. 또한 정성적인 홍수피해잠재능의 예측은 상이한 판단 결과에 의해 투자우선순위에 대한 상반된 견해를 가질 수 있다. 따라서 정량화된 PFD는 투자우선순위에 대한 객관적인 자료를 제공함으로써 지역적인 균형을 갖추면서 치수계획의 통일성과 치수사업의 일관성을 유지할 수 있다.

5. 결론

이번 연구에서 산정된 PFD는 종합적인 치수계획을 수립하는데 있어 전체적인 틀을 세우고 수계 단위의 일관성을 유지하며 지역적 특성을 살린 계획이 되도록 효과적인 역할을 수행할 수 있다. 이번 연구의 PFD는 치수단위구역별 상대적인 위험도를 의미하는 수치이므로 홍수피해 위험성과 치수 계획의 시급성을 평가할 수는 없으나 사업의 우선 순위와 지역별 사업의 방향을 결정하는 지표로 이용될 수 있다.

PFD는 치수단위구역의 중요도가 증가하거나 홍수피해 위험도가 감소함에 따라 변화된다. 주기적인 PFD의 산정은 그 변화 양상을 분석하여 지역적 여건의 변화와 치수사업의 진행 상황을 파악하고 조정하는 것을 가능하게 할 것이다.

이번에 산정한 PFD의 인자는 현재 적용한 자료내에서 최선의 결과를 도출하고 있는 것으로 생각되지만 보완되어야 할 면이 있다. 자료 축면에서의 문제점은 잠재성 요소로 선정한 항목들의 종복성과 내수방어능력을 대별할 수 있는 자료의 부재 등이다. 또한 외수방어능력 지수는 제방의 개수율 뿐만이 아니라 제방의 안정성까지 포함할 수 있는 방안이 필요하다. 이러한 면이 보완되면 PFD 산정식도 시간변수까지 포함하는 좀 더 복잡한 구조로 개선되어야 할 것이다. 최종적으로는 환경 가치, 보전 가치 등을 정량화하여 반영하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 건설교통부, “지가 공시에 관한 연차 보고서”, 1999.
2. 건설교통부, “도로현황조서”, 2000.
3. 건설교통부, “교량현황조서”, 2000.
4. 건설교통부, “재해연보”, 1980.~1999.
5. 건설교통부, “하천일람”, 2000.
6. 건설교통부, “건교부 업무편람”, 2000.
7. 통계청, “통계청 시도별 추계 인구”, 1999.
8. 한국수자원공사, “정보화근로사업 수자원자료 및 시설DB구축 완료보고서”, 1998.
9. 건설교통부, “1999년도 수자원관리법개발연구조사 보고서 제1권 한국확률강우량도 작성”, 2000.