

퍼지신경회로망을 이용한 댐운영의 최적화

이경훈¹⁾ · 문병석²⁾ · ○남길정³⁾ · 김태경³⁾

1. 서론

우리 나라의 년 평균 강수량은 계절적, 시간적, 지역적으로 편차가 심하여 수자원 관리상 매우 불리한 조건을 가지고 있어서 홍수의 위험이 상존하고 가뭄에 대한 취약점을 가지고 있다. 이러한 홍수와 가뭄에 대한 적극적인 대책방법으로 주요하천에 다목적댐을 건설함으로써 가뭄시 용수공급용량을 확보하고 댐 하류에 대한 홍수를 차단하는 방법을 사용하고 있다. 댐의 최적운영을 위해서는 먼저 강수량에 대한 댐유입량의 정확한 예측이 필수적이며, 댐유입량의 정확한 예측은 최적의 댐운영을 가능하게 할 수 있을 것이다. 따라서, 본 논문에서는 홍수기 다목적댐의 모의 운영을 위하여 클러스터링 기법을 도입한 ANFIS 모형을 이용해서 댐 유입량을 예측하여 그 적용성을 검토하였으며, 댐 모의 운영 프로그램 중 대표적이라고 할 수 있는 HEC-5모형을 이용하여 예측된 유입량과 실측된 유입량 자료를 적용시켰을 때의 결과를 비교·검토하였다. 또한, HEC-5모형의 중요한 운영변수 중의 하나인 댐의 무피해통수용량에 대해 통수용량 전량을 고려한 경우와 무피해통수용량의 70%를 적용한 경우로 나누어 무피해통수용량에 따른 홍수 조절가능성을 검토해 보았다.

2. 신경망 이론 및 HEC-5모형

2.1 신경망 모형

인공 신경망은 인간이나 동물들이 가지고 있는 생물학적인 뇌의 신경세포(Neuron)를 모델로하여 인공적으로 지능을 만드는 것이다. 즉 인간의 뇌에 존재하는 생물학적 신경세포와 이들의 연결관계를 단순화시켜 수학적으로 모델링하여 인간의 두뇌가 나타내는 지능적 형태를 구현하는 것이다. 인공 신경망은 뇌의 신경세포를 단순화 시켜 수학적으로 모델링한 인공 신경세포(Artificial neuron)와 연결(Connection)들로 구성되어 있다. 인공 신경세포는 처리단위(Processing unit), 처리요소(Processing element)라고도 하며, 외부로부터 입력을 받고 다른 인공세포로 전파 되는 출력신호를 계산한다. 그리고 인공 신경세포는 가중치(Weight)를 조절하는 역할을 한다. 병렬적으로 배열된 한 무리의 인공신경세포들의 모임을 층(Layer)이라고 하며, 같은 층내의 신경세포들은 기능적으로 같은 작업을 수행하며 인공 신경망은 근본적으로 같은 층내의 많은 신경세포들이 동시에 병렬적으로 동작한다. 인공 신경망은 신경세포들의 유형에 따라 외부로부터 입력을 받아들이는 입력층(Input layer), 외부로 출력을 내보내는 출력층(Output layer) 그리고 이들 입력층과 출력층 사이의 은닉층(Hidden layer)이 있다.

2.2 FUZZY 알고리즘과 규칙생성

패턴 인식 분야에서 잘 이용되고 있는 클러스터링은 주어진 데이터를 클러스터라고 불리는 몇 개의 집합으로 분류하는 것이다. 통상의 클러스터링은 어느 데이터가 1개의 클러스터에 속하는 정도를 0(속함이 없다) 또는 1(속한다)로 분류하는 것을 말한다. 그러나 퍼지 클러스터링은 소속도가 [0,1]의 멤버십 값으로 주어지기 때문에, 특성이 값은 데이터끼리 집합의 분할이 보다 유연하게 이루어진다. 특히 본 연구에서 사용된 차감 클러스터링(Subtractive Clustering)은 특정공간 내에 주어진 데이터를 좀더 적절하도록 데이터 분할을 수행하고

1 전남대학교 토목공학과 교수

2) 서남대학교 토목공학과 조교수

3) 전남대학교 토목공학과 박사과정

있다. 또, 차감 클러스터링은 Fuzzy의 공간분할에 의한 제어규칙의 선정에 있어 퍼지 변수가 증가함에 따라 기하급수적으로 제어규칙이 증가하는 단점을 해결하기 위한 퍼지 클러스터링방법 중 하나이다.

2.3 HEC - 5 모형

HEC-5 모형은 다목적 저수지군 모의 운영 프로그램 중 가장 대표적이라 할 수 있는 모형으로 단일홍수 조절 모의운영 프로그램으로 1973년 5월에 개발되었다. 그 후 이수목적의 모의운영 기능이 추가(1978년 2월)되었고, 계산 용량이 점진적으로 개선되었다.

이 프로그램은 유역 내의 여러 개의 저수지와 유량 조절점(Control Point)으로 구성된 저수지시스템이 그 운영 목적에 맞게 이수목적의 용수공급, 주운, 수력발전 등과 치수목적의 홍수조절 등을 충족시킴으로써 저수지 시스템 운영을 최적화 하는데 목적이 있으며 시스템에서 각각의 저수지에 대한 홍수조절 및 필요 저류용량 결정, 유역 내 시간적, 공간적 유출분포에 대한 저수지의 영향, 저수지에 의한 홍수 조절 및 이수목적(발전을 포함한)에 대한 관리 기준 산정, 홍수 피해, 홍수조절 비용 및 편익 산정, 최대 홍수조절 편익을 위한 운영 시스템의 시뮬레이션 등을 모의한다.

3. 대상유역 및 모형의 구성

3.1. 대상 유역

본 연구의 대상지역은 섬진강 유역이며 특히, 섬진강 수계내의 홍수조절용량을 보유하고 있는 섬진강댐과 주암댐을 HEC-5 모형을 구성하는 대상댐으로 선정하였으며, 유량조절점은 적성, 구례, 죽곡의 3개 지점을 선정하였으며, 그 흐름도를 그림 1에 도식화하였다. 본 연구에 사용된 자료는 신경망 입력자료와 HEC-5의 입력자료로 나누어 볼 수 있으며, 신경망에서는 1998년부터 2001년 사이의 댐 유역의 강우량 및 유입량 자료로써 홍수기인 6월에서 9월 사이의 홍수 유출사상 가운데 결측이나 왜곡이 없는 기간을 대상으로 선정하였으며 모형에 사용한 학습자료는 6개의 홍수 유출 사상을 선정하였고 검증자료는 섬진강댐의 경우 98년 08월 13일 06:00부터 08월 21일 14:00까지의 자료와 99년 09월 17일 06:00부터 09월 27일 06:00까지의 자료를 사용하였다.

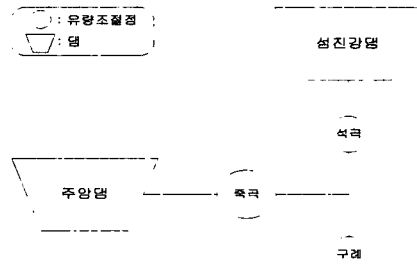


그림 1 대상지역

3.2 자료의 분석 및 모형의 구성

각 지점별 시간 강우량은 Thiessen 가중법에 의하여 유역 평균강우량으로 산정하여 사용하였으며, 유입량 예측 모형의 독립변수를 결정하기 위해 유입량과 강우는 교차상관분석(Cross-Correlation Analysis)을, 유입량은 자기상관분석(Auto-Correlation Analysis)을 통해 지체시간(Lag Time)을 결정하여 모형을 구성하였다. 섬진강댐의 3시간 단위유입량에 대한 강우자료는 교차상관계수(그림. 2)가 0.5를 기준으로 12시간전부터 현재까지와 12시간전부터 6시간전까지를, 유량은 자기상관계수(그림. 3)를 통하여 0.9, 0.75로 나누어 3시간전, 6시간전부터 현재까지의 자료를 이용하여 4개의 모형(표 1)을 구성하였으며, 주암댐의 경우도 섬진강과 같은 범위를 설정하여 모형을 구성하였다.

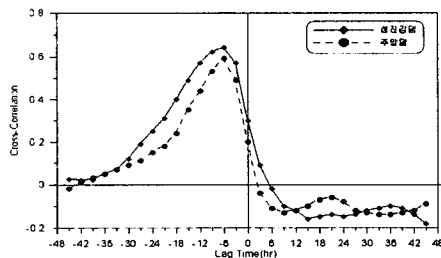


그림 2.상관분석

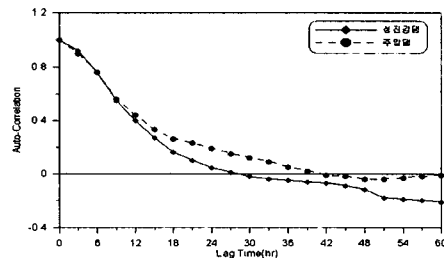


그림 3. 자기상관분석

표 1. 모델의 구성 (Q : 유입량, R : 강우량)

모 델		입 력 자 료	출 력 자 료
섬진강댐	I	$Q_t, Q_{t-3}, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}, R_{t-12}$	Q_{t+3}
	II	$Q_t, Q_{t-3}, R_t, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}, R_{t-12}$	
	III	$Q_t, Q_{t-3}, Q_{t-6}, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}, R_{t-12}$	
	IV	$Q_t, Q_{t-3}, Q_{t-6}, R_t, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}, R_{t-12}$	
주암댐	I	$Q_t, Q_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}$	
	II	$Q_t, Q_{t-3}, R_t, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}$	
	III	$Q_t, Q_{t-3}, Q_{t-6}, R_{t-6}, R_{t-9}$	
	IV	$Q_t, Q_{t-3}, Q_{t-6}, R_t, R_{t-3}, R_{t-6}, R_{t-9}$	

4. 예측 결과 분석

섬진강댐과 주암댐의 3시간 단위 유입량 예측을 위하여 클러스터링 기법을 도입한 ANFIS 모형을 이용하여 적용한 각 모델의 분석 결과는 표 2와 같다. 검증자료인 1998년 08월 13일 06:00부터 08월 21일 14:00까지의 자료와 1999년 09월 17일 06:00부터 09월 27일 06:00까지의 2개의 대상 기간에 대한 섬진강댐과 주암댐의 유입량에 대한 결정계수는 두 경우 모두 0.91 이상, 첨두유량오차율(EMF : Error of Maximum Flow)은 0.7% 이내의 우수한 예측력을 나타내었다. 특히, 섬진강 댐과 주암댐의 경우 표2와 그림 4의 (a)와(b)에 나타나듯이 모델 II가 가장 우수함으로 HEC-5 모형에 적용시킬 모델로 선정하였다.

표 2. 신경망모형의 예측유입량 분석결과

모 델	RMSE	R^2	첨두 유량(m ³ /sec)		EMF(%)	
			실측자료	예측자료		
섬진강댐	I	70.24	0.95	1,324	1,333	0.67
	II	70.24	0.95	1,324	1,332	0.61
	III	91.55	0.92	1,324	1,409	6.44
	IV	70.47	0.95	1,324	1,334	0.74
주암댐	I	50.70	0.92	1,131	1,164	2.89
	II	41.71	0.94	1,131	1,137	0.55
	III	51.29	0.91	1,131	1,151	1.81
	IV	41.83	0.94	1,131	1,103	-1.60

5. HEC-5모형 적용 결과 분석

HEC-5 모형을 실측 자료에 적용한 결과와 클러스터링 기법을 도입한 ANFIS 모형으로 예측자료로 적용한 결과를 실적 자료와 비교한 결과를 표 3에서 보여주고 있으며, 그림 5과 그림 6은 무피해통수용량을 100%와 70%를 적용했을 때 대상기간에 대한 섬진강댐과 주암댐의 결과를 도식화한 것이다.

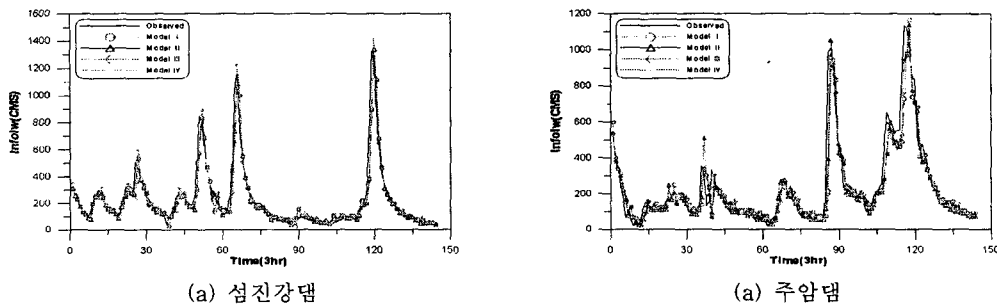
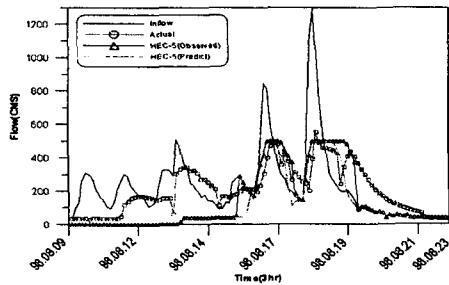


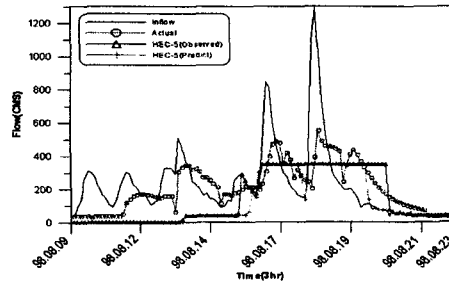
그림 4. 유입량의 예측치와 실측치

표 3 무피해통수능에 따른 댐 운영효율

항 목		침두유량조절율		저수지 방류율		저수지 저류율		적용자료
무피해통수용량		100%	70%	100%	70%	100%	70%	
대상 기간 I	섬진강댐	57.25	57.25	90.74	90.74	9.26	9.26	실 적
		61.15	72.80	62.92	62.91	37.08	37.08	실 측
		61.15	72.80	52.57	37.08	47.43	47.43	예 측
	주암댐	-34.18	-34.18	113.30	113.30	-13.30	-13.30	실 적
		4.11	32.89	96.35	96.35	3.65	3.65	실 측
		4.11	32.89	88.24	88.24	11.76	11.76	예 측
대상 기간 II	섬진강댐	97.90	97.90	10.53	10.53	89.46	89.46	실 적
		89.13	89.12	16.41	16.41	83.59	83.59	실 측
		91.69	91.69	13.01	13.01	86.99	86.99	예 측
	주암댐	27.60	27.60	97.69	97.69	2.31	2.31	실 적
		39.76	57.84	94.65	95.33	5.35	4.67	실 측
		39.76	57.84	89.50	92.02	10.50	7.98	예 측

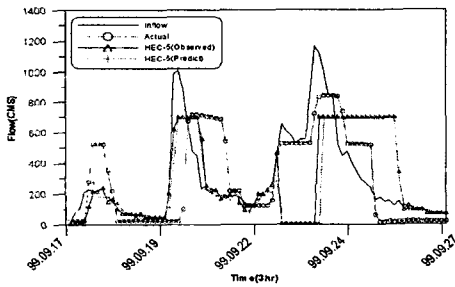


(a) 무피해통수용량 (100%)

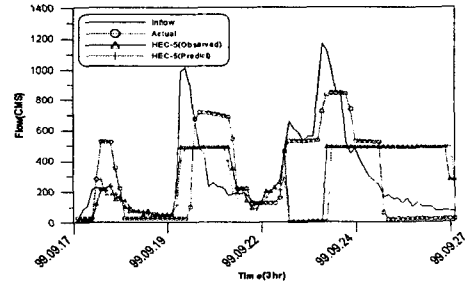


(b) 무피해통수용량 (70%)

그림 5. 대상기간 I (섬진강댐)



(a) 무피해통수용량 (100%)



(b) 무피해통수용량 (70%)

그림 6. 대상기간 I (주암댐)

5. 결론

1. 댐의 유입량을 예측하기 위해 클러스터링 기법을 도입한 ANFIS 모형을 적용시킨 결과 모든 모델들이 결정 계수와 침두유량오차율이 우수한 결과를 나타낸 것으로 보아 ANFIS 모형의 예측이 우수함을 알 수 있다.
2. HEC-5 모형에 실측 자료와 ANFIS 모형(클러스터링 기법)의 예측자료를 적용한 결과, 실제 방류량보다 침두유량조절율, 방류율에서 더 우수한 운영결과를 얻을 수 있어 HEC-5 모형의 적용이 가능함을 알 수 있었다.
3. 무피해통수용량과 저수지의 홍수조절용량사이의 관계를 알아보기 위해 무피해통수용량을 100% 적용시킨 경우와 70%를 적용시킨 결과 무피해통수용량에 따라 홍수조절의 제고와 예측 유입량과 무피해통수용량과의 관계로부터 최적의 방류량을 결정할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 김대수 (1994) 신경망 이론과 응용(I), pp. 17-34, 하이테크정보, 서울.
- (2) 한국수자원공사 (1994) HEC-5모델에 의한 다목적댐 용수공급방안, pp. 1 - 21, 한국수자원공사.