

퍼지제어모형을 이용한 다목적 댐의 홍수조절모형 (II)
- 과거홍수사상에 대한 적용 -
Multipurpose Dam Operation Models for Flood Control
Using Fuzzy Control Technique (II)
- Simulation of Historical Flood Events -

심재현* / 김지태** / 조원철*** / 김진영****
Shim, Jae Hyun / Kim, Jitae / Cho, Woncheol / Kim, Jin Young

Abstract

The objective of this study is to investigate the feasibility of the developed Fuzzy control techniques in dam operation. The simulated results for the 1984, 1990, and 1995 flood events are compared with historical operation results in the view of flood control and disaster prevention. The three models developed in this study determine the outflows based on the two conditions : the first one is to consider only two inputs such as reservoir water level and inflow, for operation of the existing situations, the second one is that the possible maximum discharge from each dam does not exceed the allowable design maximum discharge for disaster prevention in downstream area. As the results, it was shown that the suggested models based on Fuzzy control technique could reduce both the peak water level and the maximum peak discharge compared with the historical operation results.

Key words : Fuzzy control, flood control, disaster prevention, dam operation

요 지

본 연구에서는 퍼지제어기법을 이용한 홍수조절 모형의 적용성을 파악하기 위해 한강수계 단일댐에 적용하였다. 개발된 모형들의 홍수조절능력을 비교하기 위해 1984, 1990, 1995년 대홍수 발생시 실제 운영실적과 본 연구에서 개발된 모형들의 가상운영결과를 비교하였다.

본 연구에서 개발한 3개 모형은 모두 실제 적용성을 고려하여 댐의 수위와 유입량이라는 2가지 정보량으로부터 방류량을 결정토록 하였으며, 최대방류량 역시 댐 설계시 기준인 허용최대방류량을 초과하지 않도록 하였다.

각 홍수사상에 대해 적용한 결과 기존의 댐 운영결과에 비해 홍수위를 낮출 수 있으면서도 하류부의 피해 최소화에도 적절한 것으로 나타나 퍼지제어모형의 적용성을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 퍼지제어, 홍수조절, 재해방지, 댐운영

I. 서 론

본 연구에서는 퍼지제어모형을 이용하여 개발한 홍수조절모형이 홍수시 적절하게 운영되는지의 여부를

판단하기 위해 과거 홍수사상에 대한 가상 적용결과를 실제 운영결과와 비교하였다. 퍼지제어모형은 본 논문의 I 편에서 개발한 모형(심재현 등)을 이용하였으며 유입 수문곡선, 저류량, 유입량 자료를 이용하여 퍼지

* 국립방재연구소 토목연구관
** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사수료
*** 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 토목전공 교수
**** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정, 행정자치부 지역균형발전과장

연상기억장치에 제어규칙을 입력하고 이를 각 상황에 따라 출력결과로 추론해가는 방식이다(Kosko, 1992).

적용유역은 한강유역을 선정하여 홍수조절기능을 가진 화천댐, 소양강댐, 충주댐에 적용하였다. 또한 적용 홍수사상으로는 1984, 1990, 1995년 대홍수를 선정하였으며 입력자료는 한강홍수예경보의 자료를 이용하였다(건설부, 1984, 1990; 건설교통부, 1995).

이와 같이 한강수계 홍수조절용 다목적 댐에 모의적용하여 얻어진 결과를 통해 홍수시 적정 운영기법을 제안하고자 한다.

2. 방류조건

본 연구에서 선정된 방류기준은 다음과 같다.

- ① 최대방류량은 가급적 하류부의 피해를 적게 하기 위하여 예비방류량의 한계방류량을 원칙으로 한다. 단, 계획홍수위를 초과할 우려가 있는 경우에는 최대방류량을 계획홍수량으로 상향조정한다. 그러나 최대방류량은 계획홍수량을 초과할 수 없다.
- ② 실적방류량에 대한 초기수위는 실제 각 댐의 운영초기수위를 같이 사용하나 해당모형에 의해 계획홍수위를 초과할 경우에는 한계수위를 낮추어서 가상운영하며, 해당모형에 의해 충분한 치수 효과가 있는 경우에는 한계수위를 높여 가상운영한다.
- ③ 지정유량 이상의 유량을 홍수조절 대상으로 한

다.

④ 화천댐 상류의 평화의 댐과 충주댐 상류의 괴산댐 등은 미원성단계이거나 홍수조절용량이 없기 때문에 이에 대한 고려는 무시하기로 한다.

⑤ 모든 모형은 예측 유입량 정보를 무시하고 수문 조작 시각에서의 정보량인 저수지 수위와 유입량을 기준으로 방류량을 결정하도록 하였다.

3. 과거 홍수시 저수지 운영현황 분석

과거 홍수사상 중 1984, 1990, 1995년 홍수에 대하여 실제 운영상황과 개발된 모형들을 적용, 각 저수지 운영모형의 적용성을 검토하였다. 각 홍수사상별, 개발모형별 적용결과를 비교하면 다음과 같다.

3.1 1984년 홍수

1) 화천댐

8월 30일부터 9월 6일까지의 대홍수시 화천댐은 초기수위가 174.84EL.m로 홍수시 제한수위 175.0 EL.m를 초과하지 않았으나 실제 운영시 최대방류량은 설계시 최대방류량 5,428cms를 초과하는 6,668cms로 나타나 하류부 피해를 가중시켰던 것으로 파악된다. 이에 반해 본 연구에서 제시한 각 모형은 최대 방류량을 계획방류량을 유지하면서 운영할 수 있었다. Fuzzy I 모형의 경우 rule 3의 경우에 침두수위가 계획홍수위에 육박하는 결과를 나타내었으며 Fuzzy II, III 모형의 경우 침두수위를 낮출 수 있어 적절하였다고 판단된다.

표 1. 화천댐에서의 가상운영 결과비교(1984년)

모형	구분	침두수위 (EL.m)		침두방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
		실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I		182.11	182.87	6,668	5,428	1,122.92	1,262.55
Fuzzy II		182.11	181.14	6,668	5,428	1,122.92	1,299.55
Fuzzy III		182.11	182.36	6,668	5,428	1,122.92	1,174.78
비고	○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 3 ○ Fuzzy I, Fuzzy II, Fuzzy III의 최대방류량은 5,428cms 적용						

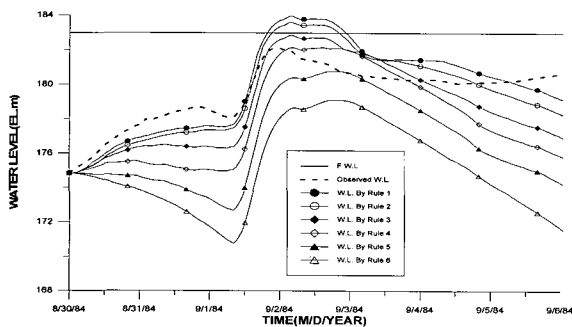


그림 1. 수위곡선비교 (Fuzzy I 모형, 1984, 화천)

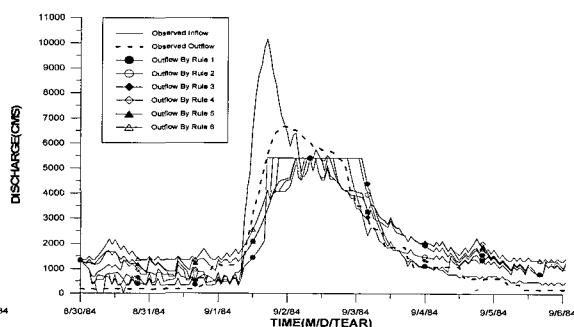


그림 2. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1984, 화천)

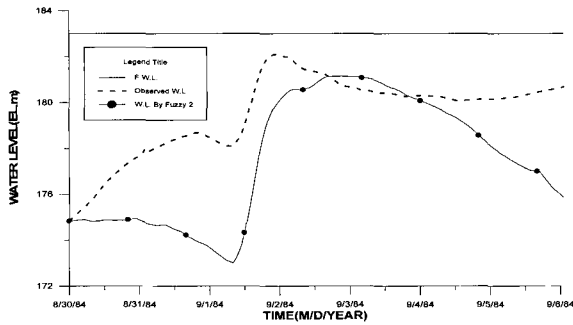


그림 3. 수위곡선비교 (Fuzzy II 모형, 1984, 화천)

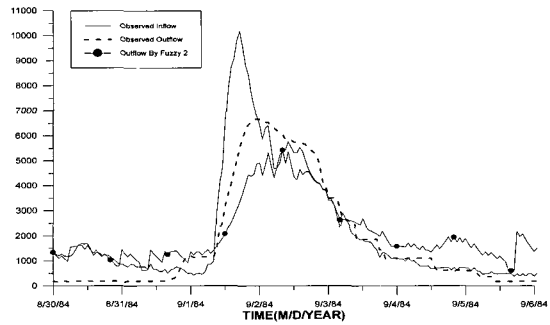


그림 4. 유량곡선비교 (Fuzzy II 모형, 1984, 화천)

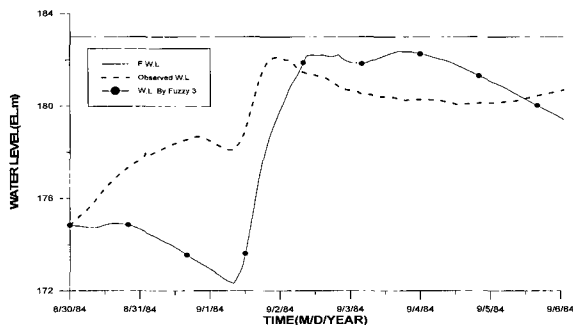


그림 5. 수위곡선비교 (Fuzzy III 모형, 1984, 화천)

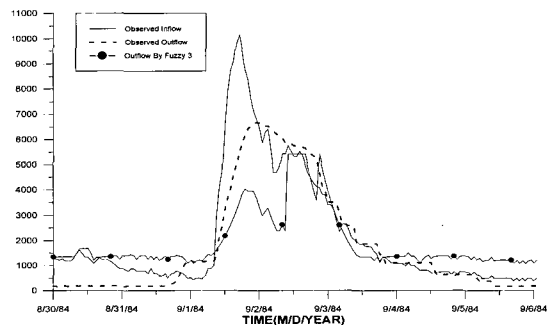


그림 6. 수위곡선비교 (Fuzzy III 모형, 1984, 화천)

2) 소양강댐

1984년 8월 30일부터 9월 6일까지 소양강 댐의 실제 운영 결과와 본 연구에서 개발된 모형에 의한 가상운영결과를 비교하면 아래의 표 2와 같다. 당시 소양강댐의 초기수위는 홍수시 제한수위인 191.0EL.m보다 훨씬 낮은 181.8EL.m에서 저수지 운영을 하였으나 12,000 cms에 육박하는 설계홍수량을 초과하는 홍수가 짧은 간격에서 두 차례나 발생하였기 때문에 계획홍수위를 초과할 뻔한 상황이 발생하였다.

이러한 상황을 퍼지모형에 적용한 결과 최대홍수위가 계획홍수위 198.0EL.m를 초과하지 않았으며, 최대방류량이 3,600cms이하로서 실제 경우인 11,994cms보다 매우 작았고, 최종방류량 역시 실제운영의 15억 3900m³에 비해 10억m³ 미만으로 나타나 이수와 치수효과를 모두 거둘 수 있는 것으로 나타났다. 실제운영에서 계획홍수위에 육박하였다는 사실은 1984년 홍수

이전의 가뭄이 심각함을 고려하여 저류위주로 저수지를 운영하였기 때문이었던 것으로 판단된다.

3.2 1990년 홍수

1) 화천댐

1990년 9월 10일 13시부터 13일 24시까지의 홍수에 대해서 초기수위는 제한수위 175.0EL.m를 훨씬 초과하는 177.24EL.m이었다. 실제 운영결과와 가상운영결과를 비교하면 첨두수위는 개발된 모형 모두 실제운영결과에 비해 유사하거나 높았으나 최대방류량은 한계방류량인 3,000cms로 실제 3,300cms에 비해 낮아 하류부 피해를 줄일 수 있는 것으로 판단되었으며, 총방류량 또한 Fuzzy II 모형을 제외하고는 실제 방류량보다 낮아 이수적인 효과가 개선될 수 있는 것으로 나타났다.

표 2. 소양강댐에서의 가상운영 결과비교(1984년)

구분	첨두수위 (EL.m)		첨두방류량 (cms)		총방류량 (×10 ⁶ m ³)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I	197.79	196.90	11,994	3,600	1,539.36	811.64
Fuzzy II	197.79	193.90	11,994	3,424	1,539.36	1,041.65
Fuzzy III	197.79	192.54	11,994	3,600	1,539.36	1,077.39
비고	○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 2 ○ Fuzzy I, II, III의 최대방류량은 3,600cms 적용					

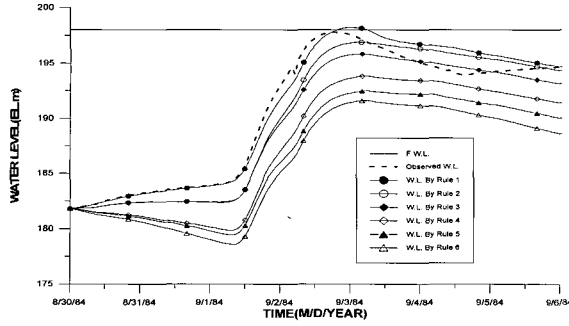


그림 7. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1984, 소양강)

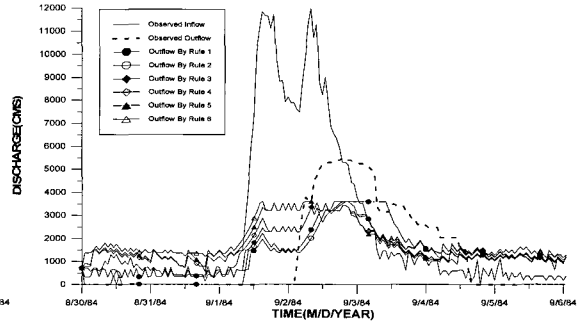


그림 8. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1984, 소양강)

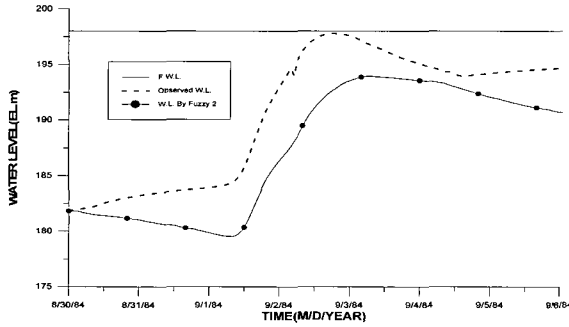


그림 9. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1984, 소양강)

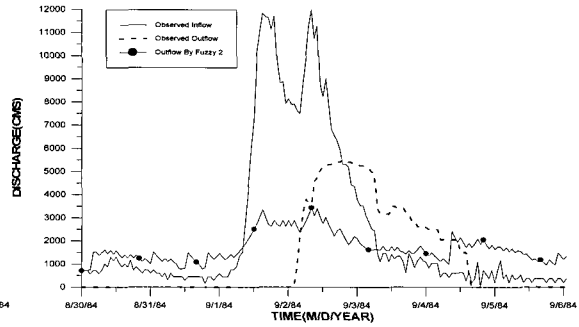


그림 10. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1984, 소양강)

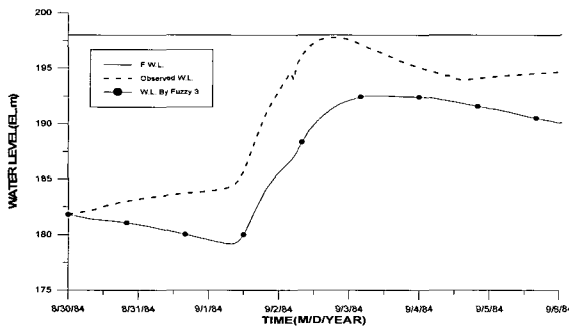


그림 11. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1984, 소양강)

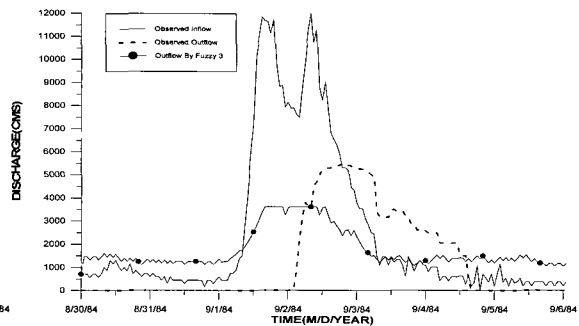


그림 12. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1984, 소양강)

표 3. 화천댐에서의 가상운영 결과비교(1990년)

모형	구분	침투수위 (EL.m)		침투방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
		실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I		179.87	182.37	3,330	3,000	538.03	479.13
Fuzzy II		179.87	179.86	3,330	2854	538.03	593.05
Fuzzy III		179.87	182.44	3,330	3,000	538.03	477.18
비 고		○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 1 ○ Fuzzy I, II, Fuzzy III의 최대방류량은 3,000cms 적용					

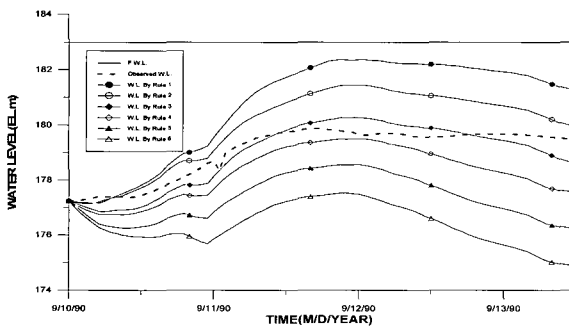


그림 13. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 화천)

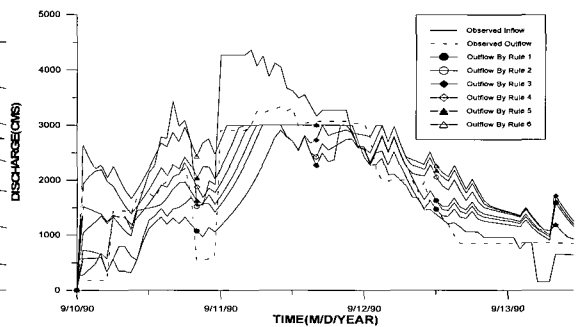


그림 14. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 화천)

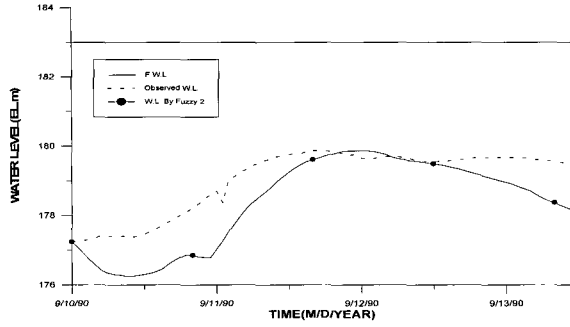


그림 15. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 화천)

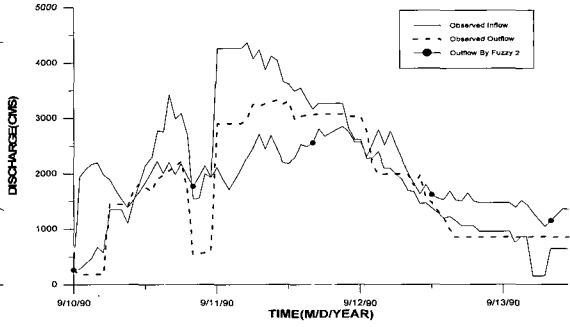


그림 16. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 화천)

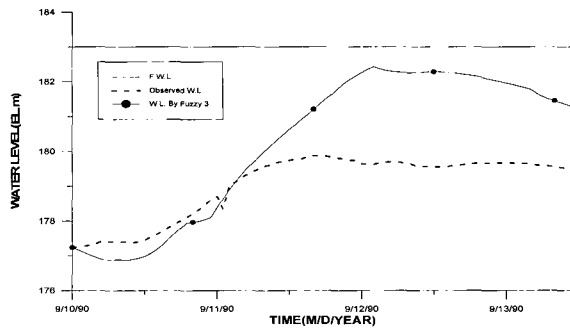


그림 17. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 화천)

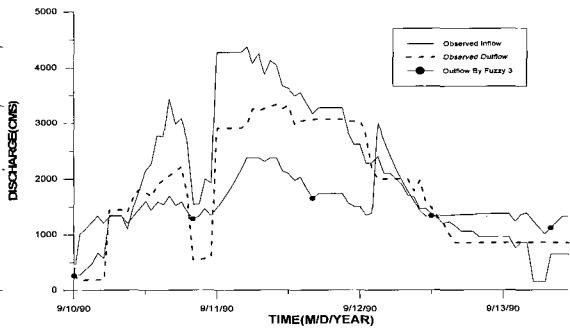


그림 18. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 화천)

2) 소양강댐

1990년 9월 10일 13시부터 13일 24시까지의 홍수에 대해서 초기수위는 제한수위를 약간 초과하는 191.56

EL.m이었다. 침투수위를 낮추는 치수효과는 Fuzzy II 모형이 가장 우수하였는데 이는 최대 방류량을 설계방류량으로 설정하였기 때문인 것으로 판단된다.

표 4. 소양강댐에서의 가상운영 결과비교(1990년)

구분	침투수위 (EL.m)		침투방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I	197.99	197.83	5,675	3,600	613.17	759.34
Fuzzy II	197.99	197.10	5,675	5,500	613.17	782.57
Fuzzy III	197.99	197.43	5,675	5,500	613.17	652.24
비고	○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 3, 최대방류량은 3,600cms 적용 ○ Fuzzy II, Fuzzy III의 최대방류량은 5,500cms 적용					

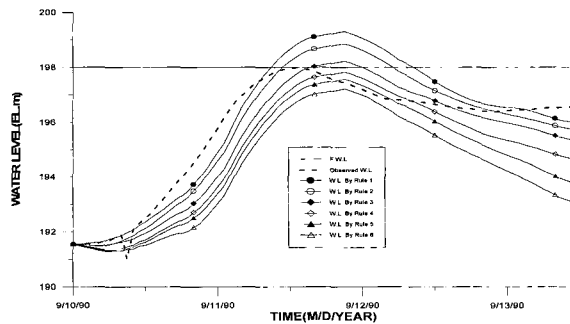


그림 19. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 소양강)

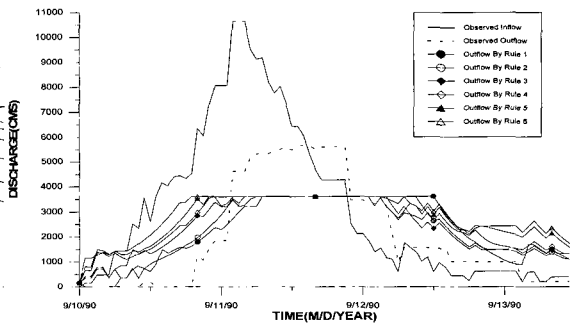


그림 20. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 소양강)

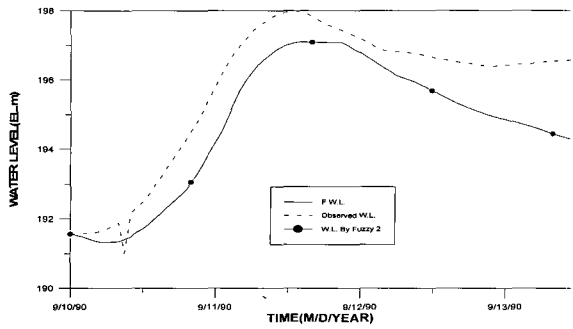


그림 21. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 소양강)

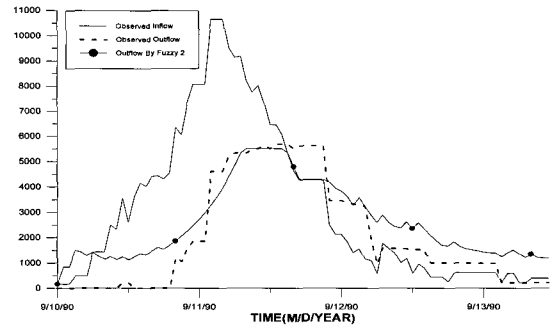


그림 22. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 소양강)

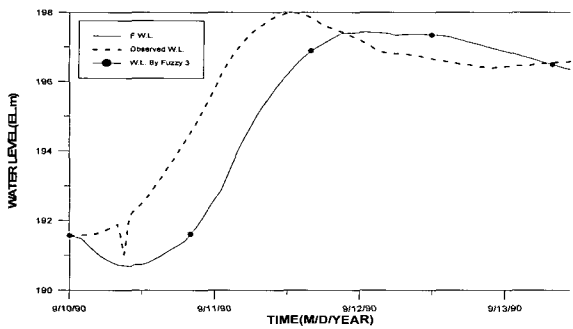


그림 23. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 소양강)

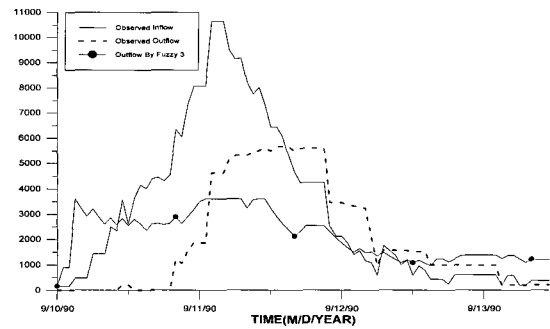


그림 24. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 소양강)

3) 충주댐

당시 저수지의 초기수위는 제한수위 138.0EL.m보다 낮은 135.79EL.m였으며, 모든 모형에서의 가상운영결과가 실제운영결과에 비해 치수효과가 높은 것으로 나타

났다. 단지 최대 방류량을 한계방류량과 최대방류량인 16,200cms에 대해서만 적용하였기 때문에 그 사이의 방류량에 대한 검정을 통한 재검토후 기준을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

표 5. 충주댐에서의 가상운영 결과비교(1990년)

구분	침투수위 (EL.m)		침투방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I	146.04	144.39	14,000	11,900	1,842.35	2,100.32
Fuzzy II	146.04	144.96	14,000	16,200	1,842.35	2,100.30
Fuzzy III	146.04	144.58	14,000	16,200	1,842.35	1,984.88
비고	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 4, 최대방류량은 11,900cms 적용 ○ Fuzzy II, Fuzzy III의 최대방류량은 16,200cms 적용 					

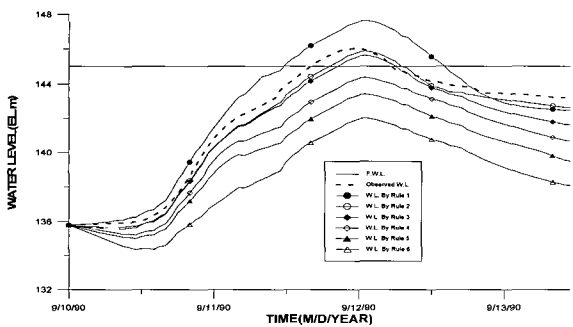


그림 25. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 충주)

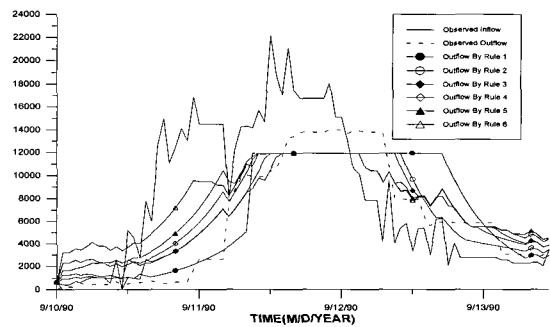


그림 26. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1990, 충주)

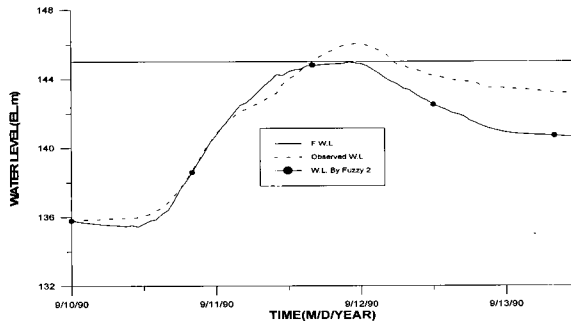


그림 27. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 충주)

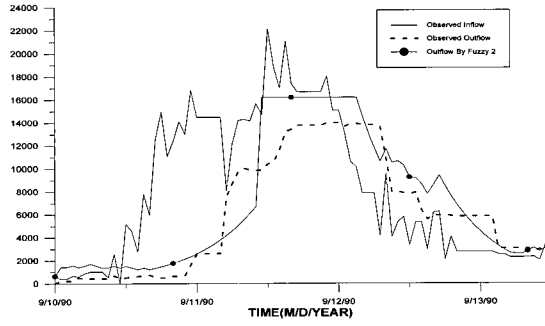


그림 28. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1990, 충주)

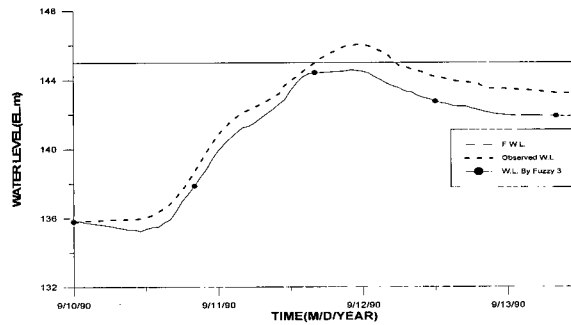


그림 29. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 충주)

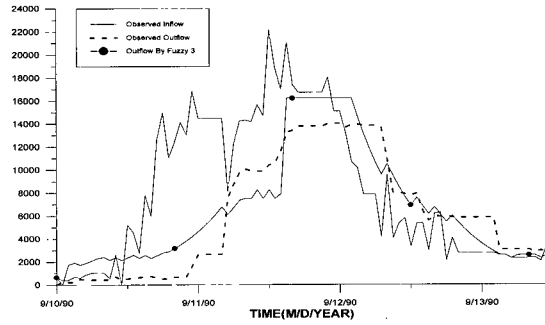


그림 30. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1990, 충주)

3.3 1995년 홍수

1) 화천댐

홍수가 시작될 때 화천댐의 초기수위는 제한수위를 1.49m 초과하는 176.49EL.m이었다. 실제 운영결과와 가상운영결과를 비교하면 모두 계획홍수위를 초과하지

않았으며, 침투방류량은 하류부의 피해를 주지 않는 범위 내에서 운영이 가능하였고, 총방류량 역시 Fuzzy I 모형을 제외하고는 실제 방류량보다 작아 이수적인 효과도 거둘 수 있는 것으로 나타났다.

표 6. 화천댐에서의 가상운영 결과비교(1995년)

구분	침두수위 (EL.m)		침투방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I	179.27	182.28	3,742	3,000	977.13	869.94
Fuzzy II	179.27	179.08	3,742	3,000	977.13	1,041.53
Fuzzy III	179.27	181.44	3,742	2,380.96	977.13	869.35
비고	○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 1 ○ Fuzzy I, II, III의 최대방류량은 3,000cms 적용					

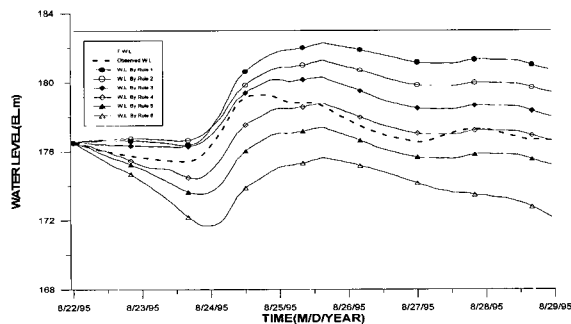


그림 31. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 화천)

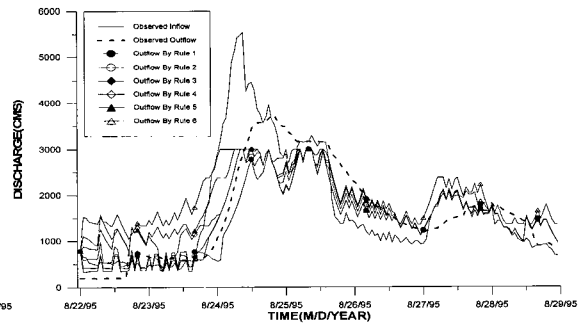


그림 32. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 화천)

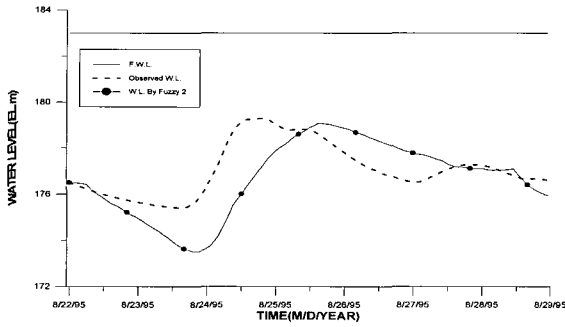


그림 33. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 화천)

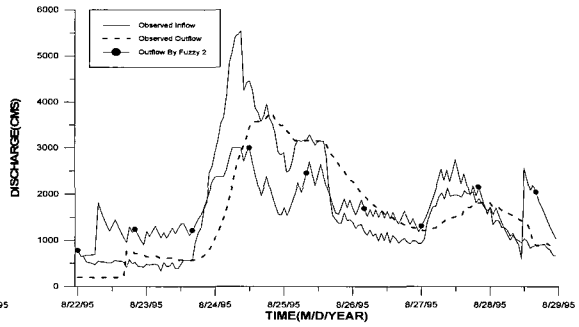


그림 34. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 화천)

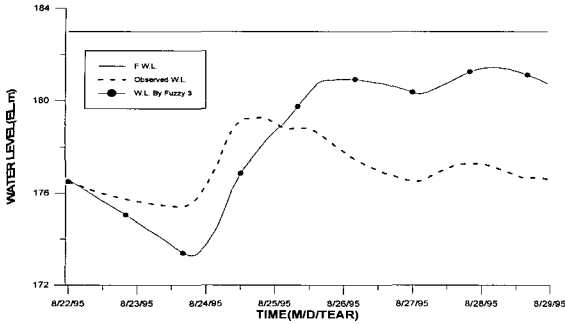


그림 35. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 화천)

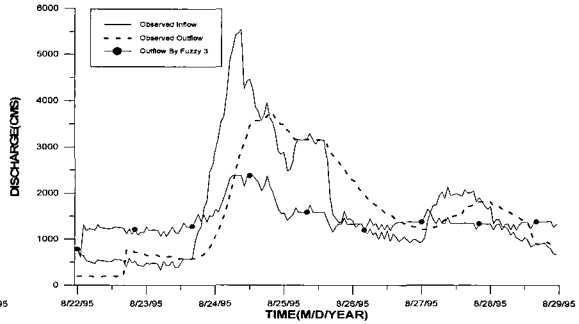


그림 36. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 화천)

2) 소양강댐

홍수시 초기수위는 제한수위보다 4.5m 낮은 186.50 EL.m이었으며, 개발 모형 모두 최대수위가 실제 수위에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또한 최대방류량도 실

제 방류량보다 낮아 치수효과측면에서 모형의 우수성을 입증하는 것으로 나타났다. 그러나 총방류량의 측면에서는 실제 방류상황보다 크게 우수하지 않은 것으로 나타났다.

표 7. 소양강댐에서의 가상운영 결과비교(1995년)

구분	첨두수위 (EL.m)		첨두방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I	194.66	196.21	3,532	2,587.68	680.32	588.47
Fuzzy II	194.66	190.24	3,532	3,418.56	680.32	968.19
Fuzzy III	194.66	189.61	3,532	3,600	680.32	1,013.07
비고	○ Fuzzy I의 걱정 제어규칙은 Rule 1 ○ Fuzzy I, II, III의 최대방류량은 3,600cms 적용					

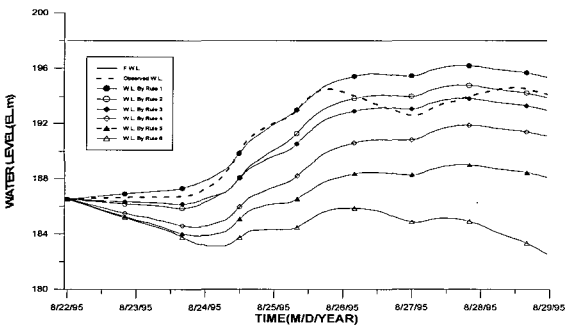


그림 37. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 소양강)

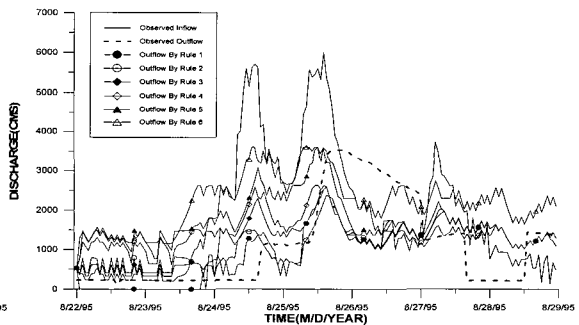


그림 38. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 소양강)

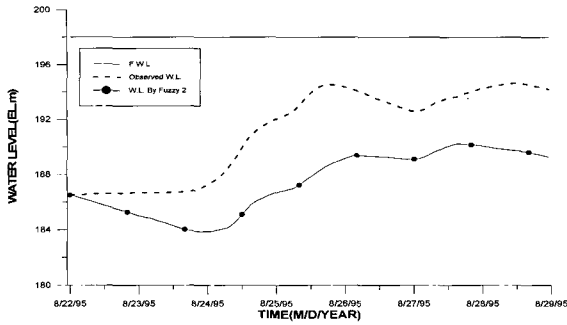


그림 39. 수문곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 소양강)

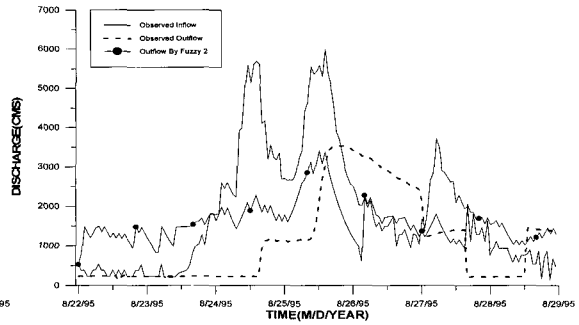


그림 40. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 소양강)

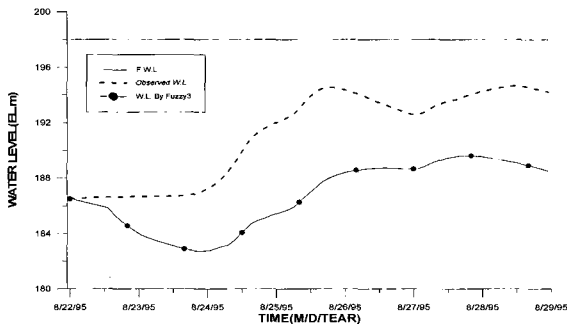


그림 41. 수문곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 소양강)

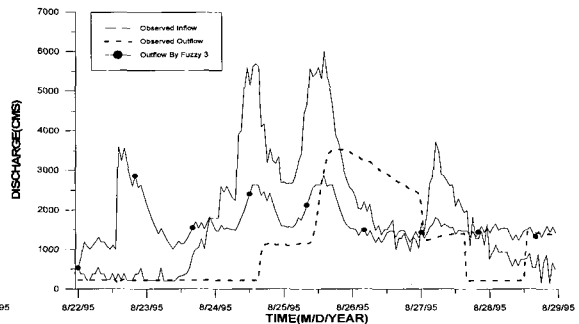


그림 42. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 소양강)

3) 충주댐

당시 초기수위는 제한수위보다 3.21m 낮은 134.79 EL.m이었으며, 아래의 표와 같이 실제 운영상황에 비해 Fuzzy I 모형의 경우 침두수위가 높은 것으로 나타

났으나 나머지 모형에서는 낮은 것으로 나타나 치수효과가 있는 것으로 파악되었다. 이는 최대방류량을 실제 운영상황보다 낮은 상태에서의 결과이기 때문에 모형의 우수성을 입증할 수 있는 결과로 판단된다.

표 8. 충주댐에서의 가상운영 결과비교(1995년)

모형	구분	침두수위 (EL.m)		침두방류량 (cms)		총방류량 ($\times 10^6 m^3$)	
		실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
Fuzzy I		141.95	144.15	8,526	7,593.71	1,550.62	1,405.67
Fuzzy II		141.95	141.69	8,526	5,117.86	1,550.62	1,702.28
Fuzzy III		141.95	139.30	8,526	7,254.78	1,550.62	1,795.36
비고	○ Fuzzy I의 적정 제어규칙은 Rule 1 ○ Fuzzy I, II, III의 최대방류량은 11,900cms 적용						

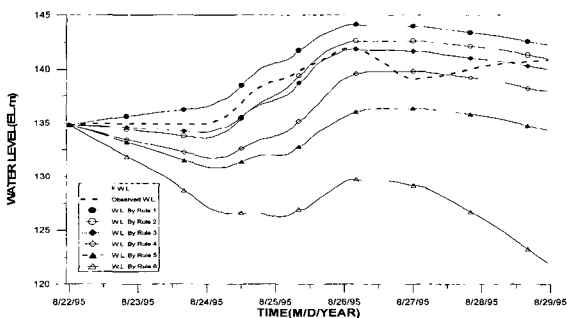


그림 43. 수위곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 충주)

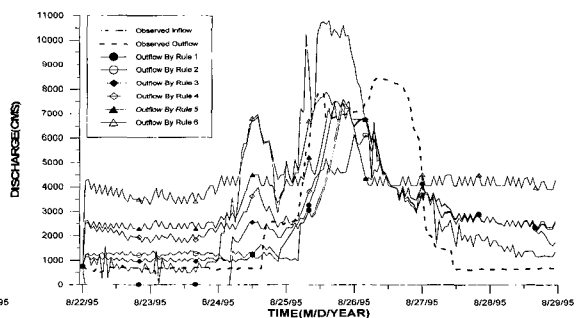


그림 44. 유량곡선비교(Fuzzy I 모형, 1995, 충주)

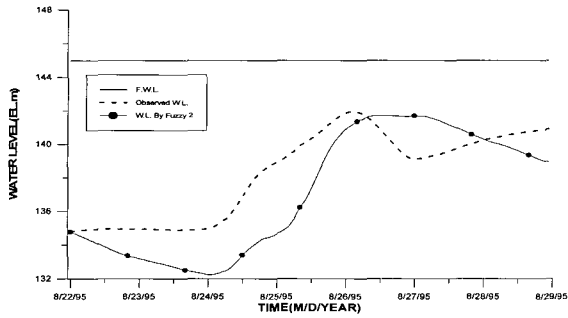


그림 45. 수위곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 충주)

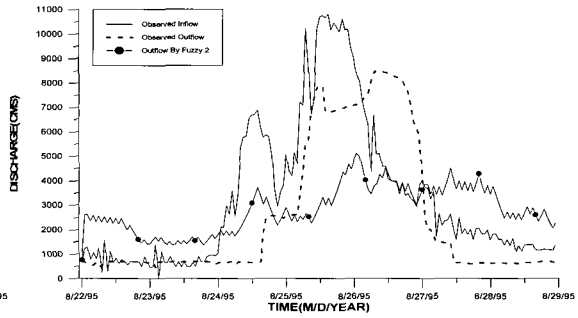


그림 46. 유량곡선비교(Fuzzy II 모형, 1995, 충주)

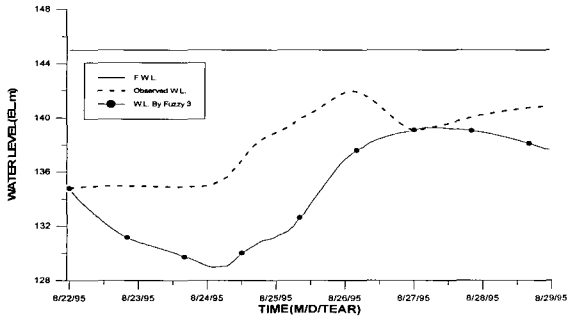


그림 47. 수위곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 충주)

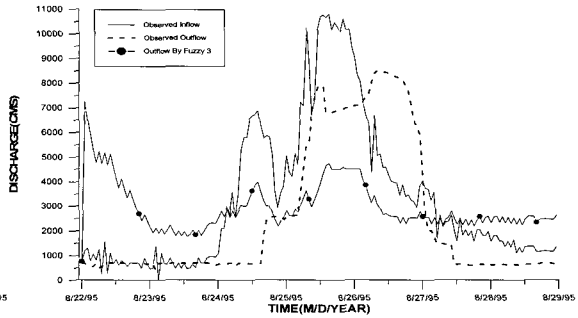


그림 48. 유량곡선비교(Fuzzy III 모형, 1995, 충주)

5. 결론

본 연구는 퍼지제어기법을 사용하여 한강 수계 화천, 소양강, 충주댐의 과거 실측 저수지 운영결과와 본 연구에서 개발한 세가지 퍼지제어모형과의 가상모의운영결과를 비교한 것으로서 그 결과는 다음과 같다.

1) Fuzzy모형을 이용하여 1984, 1990, 1995년 대홍수에 대해 홍수조절용 상류댐에 대한 단일 댐 운영제어를 모의한 결과 댐 자체의 안전성과 댐 하류부의 피해를 줄일 수 있는 저수지 운영이 가능함을 확인하였다.

2) 특히 1984, 1990년 소양강댐의 제체 위험성이 발생한 경우를 가상운영을 통해 막을 수 있다고 판단되며, 1990, 1995년의 충주댐 실제 운영시 문제가 되었던 하류부 피해를 초래하지 않으면서도 적절한 운영결과

를 얻을 수 있었다.

3) 개발된 세 가지 모형 중에서 Fuzzy I 모형이 Fuzzy II, III 모형에 비해 하류부 최대방류량을 작게하는 효과가 있었으며, 댐의 침투수위에서는 높게 나타났다.

4) 본 연구에서 개발된 모형과 하도추적의 연계운영을 모의할 수 있는 프로그램을 개발한다면 현재 운영 중인 저수지 운영모형에 비해 홍수시 치수방재효과를 개선할 수 있는 운영시스템이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 건설부 한강홍수통제소(1984~1990), 한강홍수예경보.
- 건설교통부 한강홍수통제소(1995), 한강홍수예경보.
- Kosko, B.(1992), Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, pp. 1~11, pp. 299~338