

퍼지제어모형을 이용한 다목적댐의 홍수조절모형 (III)  
- 댐군의 연계운영방안 -  
Multipurpose Dam Operation Models for Flood Control  
Using Fuzzy Control Technique (III)  
- Multi Reservoir Operation Methods -

심재현\* / 김지태\*\* / 조원철\*\*\* / 김진영\*\*\*\*

Shim, Jae Hyun / Kim, Ji Tae / Cho, Woncheol / Kim, Jin Young

Abstract

In this research, multi reservoir operation methods for reservoirs in Han River are proposed based on the single dam operation models using fuzzy control techniques. The result of fuzzy controled single dam operation has shown that it can improve flood controllability at the downstream of dams. Among the many control rules of fuzzy operation, a rule that shows the most effective flood control rate at the downstream has been selected as the operation rule. The simulated results for 1990 and 1995 flood events are compared with historical ones. As the results, it is founded that suggested models can reduce the inundation of upstream and keep the water elevation lower at downstream, which make the proposed models as the effective methods in multi reservoir operation.

**Key words** : fuzzy control, multi reservoir operation, flood control

요지

본 연구에서는 퍼지제어 모형을 이용한 단일댐의 운영모형을 기초로 하여 한강수계 댐군의 연계운영 방안을 제시하였다. 단일댐 모형에 의한 댐 운영의 결과가 하류부 수위에 미치는 영향을 검토하여 모형의 홍수 조절 효과를 확인하였으며 각 댐들의 제어규칙을 모의하여 하류부의 홍수조절 효과가 가장 큰 규칙을 찾음으로써 연계운영 규칙을 선정하였다. 1990, 1995년 대홍수 발생시 실제 운영실적과 연계운영의 결과를 비교한 결과 본 연구에서 개발한 모형이 각 댐의 안정성을 확보하면서 상류부 침수피해를 줄이며 하류부에서 낮은 수위를 확보할 수 있었다는 점에서 치수적인 효과가 뛰어난 운영방안이라고 판단된다.

**핵심용어** : 퍼지제어, 연계운영, 홍수조절

I. 서론

한강과 같이 여러 개의 댐이 함께 운영되고 있는 하천에서 홍수조절을 위해서는 각 댐 자체의 안정성 확보를 위한 댐 운영과 더불어 하천 및 유역 전체의 안

정성을 위해 각 댐의 연계운영이 필요하며 실제로 홍수조절시 한강 본류의 안전확보를 기준으로 상류부 댐들의 방류량을 조절하고 있다. 단일댐의 운영모형은 홍수시 댐의 안전도 측면과 직하류부에 가급적 피해를 주지 않는 범위에서 저류공간과 방류량을 시간적으로 조화시키는 운영방안 즉, 댐의 안전성에 우선순위를 둔 운

\* 정희원, 국립방재연구소 토목연구관 (E-mail: shim1001@nema.go.kr)

\*\* 정희원, 국립방재연구소 토목연구관

\*\*\* 정희원, 연세대학교 공과대학 사회환경·건축공학부 토목전공 교수

\*\*\*\* 정희원, 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정, 행정자치부 지역균형발전과장

영방식이다. 본 연구의 목적은 효율적인 연계운전을 위한 방안으로 퍼지제어기법을 이용한 단일댐의 운영결과(심재현 등, 2004)를 토대로 연계운영 방안을 제시하는데 있다. 퍼지제어기법은 유입수문곡선, 저류량, 유입량 자료를 퍼지연상기억장치의 입력값으로 하고 제어규칙을 설정하여 각 상황에 따라 최적의 결과로 추론해가는 방식이다(Kosko, 1992). 본 연구에서 적용한 모형에서는 해당 시각에서의 저수지 수위와 유입량을 기준으로 제어규칙을 설정하였다. 이러한 2개의 입력 퍼지정보량에 의하여 제어출력을 결정하기 위해 각 입력정보량을 맞고 적음에 따라 각각의 퍼지변수로 구분하고, 각 정보량의 상황에 의하여 출력량 역시 적정 퍼지변수로 결정하는 과정이 제어규칙의 설정이다. 본 연구에서는 이러한 퍼지제어기법을 이용한 한강 상류부담군 운영모형의 각 제어규칙 중에서 어떠한 규칙을 적용하는 것이 하류부의 수위 조절 효과가 가장 좋은가를 선정하고 실측치와 비교하여 그 효과를 모의하고자 한다.

## 2. 단일댐 운영모형에 의한 하류부 수위 영향 검토

퍼지제어기법을 이용한 단일댐의 운영모형에서는 단일 댐 운영방식의 효율성을 제고시키기 위해 기존의 댐운영방식중의 하나인 Rigid ROM 모형과 본 연구에서 개발한 Fuzzy I, II, III 모형을 비교하였다. Fuzzy 모형의 경우 하류부로의 방류량과 제어규칙의 변화를 주었는데, 방류조건은 직하류부에 피해를 주지 않는 최대 허용가능 방류량인 한계방류량과 댐 설계조건상 방류가능한 최대방류량 등 2가지 경우를 고려하였고, Fuzzy I 모형의 경우는 방류량을 가급적 적도록 하는 Rule 1에서 방류량을 크게 할 수 있는 Rule 6 까지 6가지 경우를 고려하였다.

본 연구에서 설정한 Fuzzy 모형의 단일 댐 안전에 대한 효용성은 이미 검증되었으나, 각 댐에서 방류된 방류량이 하류로 유하되어 하류부 수위에 영향을 주는가를 검토할 필요가 있다고 판단되어 한강 수계의 댐들 중 소양강댐, 화천댐, 충주댐, 팔당댐을 대상으로 하여 모형을 적용하였으며 그 결과를 1990, 1995년 홍수의 실측결과와 비교하였다. 여기서 1984년의 대홍수의 경우는 제외하였는데, 이는 1984년 당시에는 충주댐이 건설중이어서 충주댐의 영향을 고려할 수 없었기 때문이다. 현재 한강수계의 홍수조절이 주로 충주댐과 소양강댐에 의해 이루어지고 있고, 이에 대한 연계운전을 모의하고자 충주댐 건설 이후로 모의기간을 정하였으나, 모형의 적용성을 좀더 검토하기 위하여 1984년 홍수사상을 남한강과 북한강 합류 이전의 지점에 대하여

화천댐과 소양강 두 댐만의 연계운영에 대한 적용도 의미가 있으므로 추후 연구로 진행할 계획이다.

1990, 1995년의 홍수사상에 대한 적용 결과 앞에서 언급한 바와 같이 단일 댐의 운영상 각 홍수시 댐의 설계홍수위를 넘지 않는다는 치수상의 안전성은 확보되었다. 이때 Fuzzy I 모형의 경우는 6가지 제어규칙 중 설계홍수위를 넘지 않고 가급적 저류용량을 활용할 수 있도록 제어규칙을 선정하여 비교하였다.

개발된 모형에 의해 제어된 시간별 방류량이 하류부의 수위에 미치는 영향을 검토하기 위해 소양강 유역과 북한강 유역의 경우는 청평지점, 남한강 유역의 경우는 여주지점, 세 유역에서의 유량이 합류되어 나타나는 영향을 검토하기 위해 인도교 지점 등 3가지 지점에서 관측된 실측치와 비교하였다.

각 댐으로부터 수위검토 지점까지의 하도추적은 미공병단에서 개발한 HEC-1 모형을 이용하였다. 하도추적은 Muskingum-Cunge 방법을 적용하였으며, 하도구간 내에서 측방유입을 고려할 필요가 있다고 판단되는 경우에는 운동과 추적기법을 이용하였다. 발전용 댐에서의 홍수지체효과는 level-pool 저수지 추적법을 이용하여 고려하였다.

### 1) 1990년 홍수

1990년 대홍수의 특징은 한강유역 하류부에서 집중호우가 발생한 이후 상류 댐 유역으로 호우가 이동하는 양상을 보이고 있다는 점이다. 이러한 호우의 양상은 댐 운영상 유역의 홍수방어에 가장 좋지 않은 영향을 미치는데, 이는 집중호우로 인해 하류유역의 홍수위가 상승한 상황에서 상류 댐에서의 방류량이 중첩되는 최악의 상황을 발생시키기 때문이다. 따라서, 이러한 상황에서는 상류 댐의 안전성을 확보하면서도 동시에 하류 유역의 홍수위를 계획홍수위 이하로 유지시키는 댐 운영은 매우 어려울 것으로 예상되는데, 이는 아래의 표와 같이 실측 수위보다 제어된 방류량에 의한 수위가 더 크게 나타나는 양상을 보이게 된다. 아래의 표의 수치를 살펴보면 당시 북한강 및 소양강 유역에서 제어한 유량이 하류부 청평지역에 도달할 때 첨두유량이 약간 상승하면서도 도달시간이 짧아지는 양상을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 단일 댐에 있어서 댐의 안전성을 확보하면서도 유량의 차가 크지 않기 때문에 청평지점까지는 큰 문제가 발생하지 않은 것으로 나타나고 있다. 그러나 여주지점에 있어서는 그 유량의 차가 많이 나타나고 있는데 이는 당시 충주댐은 계획홍수위를 초과하고 있는 반면에 본 연구에서 수행한 가상제어에서는 계획홍수위를 넘지 않도록 댐

의 안전성을 확보하기 위해 하류로의 방류량을 상향조정하였기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그러나 충주댐에서의 방류량 역시 설계최대방류량을 초과하지 않았기 때문에 실제 상황과는 달리 충주댐 상류유역의 침수피해를 방어하면서 최대방류량의 조절을 통해 직하류부에 대한 피해도 줄일 수 있는 긍정적인 효과가 있다고 판단된다.

단지 여주지점의 수위가 상승하면서 침투발생시각이 약간 앞당겨지는 효과가 나타난 것이 아래 인도교지점의 표에서와 같이 침투유량을 발생시키는 효과를 보이게 된 근본적인 원인이었다고 판단된다.

이와 같이 당시 상황과 가상제어 결과가 상이하게 나타나는 근본적인 원인을 요약하면 다음과 같다.

i) 북한강 및 소양강 유역에서의 가상방류량은 실제 상황에 비해 댐 자체의 안전성을 위해 예비방류의 형태와 같이 홍수발생 초기에 많이 이루어졌으며, 홍수중기, 말기에는 적게 이루어졌으나 청평지점에 도달할 때에는 침투유량의 도달시간을 앞당기는 영향을 미쳤다.

ii) 남한강 유역에서의 가상방류량은 실제 상황과 같은 충주댐 상류유역의 침수상황을 막기 위해 증가시켰으며, 이 영향으로 인해 여주지점 등 하류유역의 침투유량을 증가시키는 영향을 미쳤다.

iii) 이러한 유량이 하류부 팔당 댐에서 유입량 그대로를 방류하는 방식으로 운영되었다고 가정하면 인도교 지점에서는 3,000~5,000cms 정도의 유량을 증가시키는 효과로 나타난다.

표 1. 청평 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1990년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	17,004	-	69	-
Fuzzy I 에 의한 결과	17,151	147	64	-5
Fuzzy II 에 의한 결과	17,149	145	68	-1
Fuzzy III 에 의한 결과	17,203	199	67	-2

주) 유량차 = Fuzzy에 의한 결과 - 실제조작  
도달시간차 = Fuzzy에 의한 결과 - 실제조작

표 2. 여주 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1990년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	15,464	-	84	-
Fuzzy I 에 의한 결과	16,522	1,058	76	-8
Fuzzy II 에 의한 결과	17,876	2,412	84	0
Fuzzy III 에 의한 결과	17,032	2,568	87	3

표 3. 인도교 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1990년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	30,009	-	61	-
Fuzzy1에 의한 결과	33,077	3,068	68	7
Fuzzy2에 의한 결과	33,235	3,226	61	0
Fuzzy3에 의한 결과	34,834	4,825	61	0

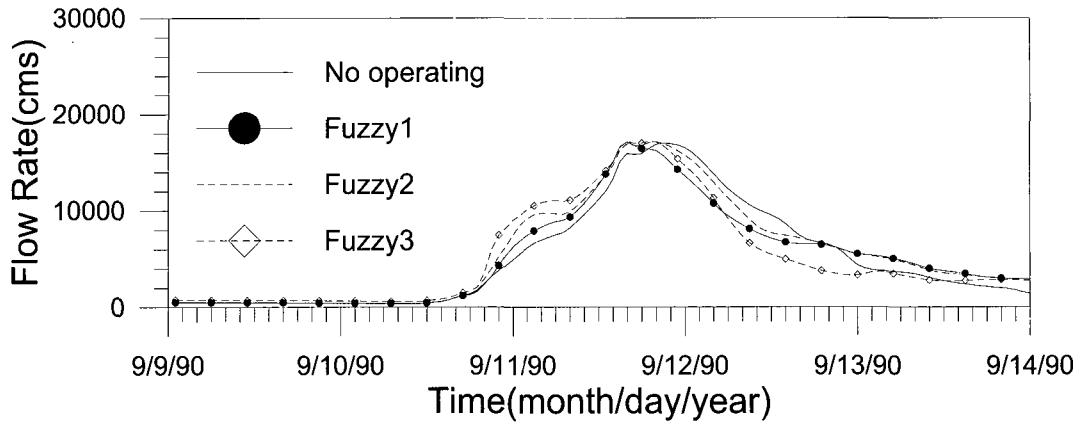


그림 1. 1990년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 청평지점의 수문곡선

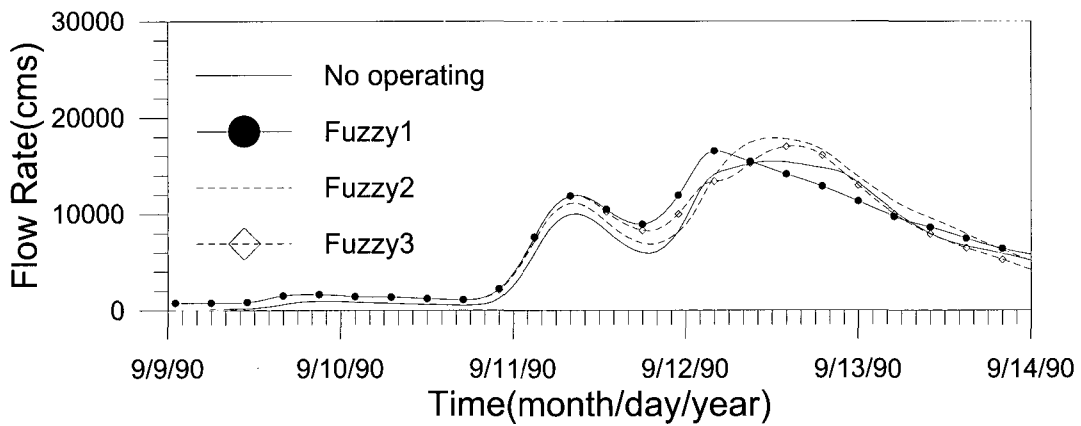


그림 2. 1990년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 여주지점의 수문곡선

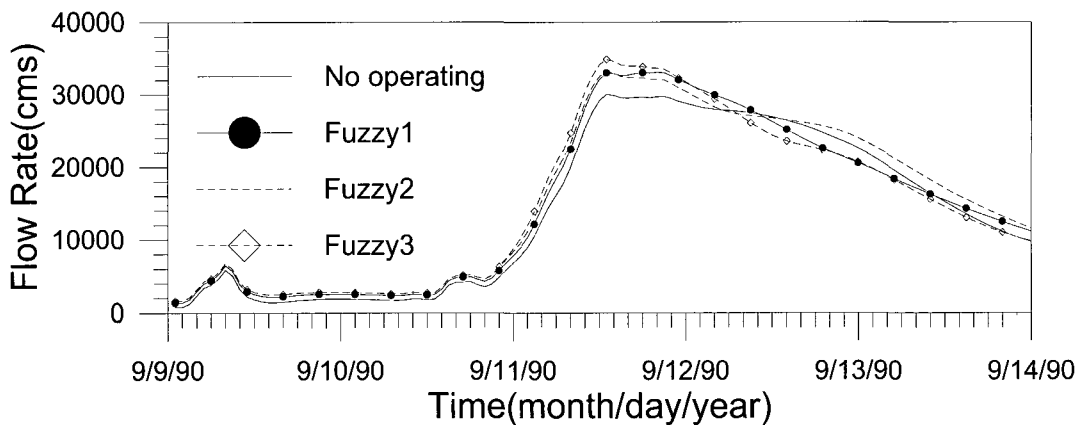


그림 3. 1990년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 인도교지점의 수문곡선

## 2) 1995년 홍수

1995년 대홍수의 특징은 1990년 홍수와는 달리 댐 상류유역에서의 호우에 의한 영향이 컸던 일반적인 양상을 보이고 있다는 점이다. 이러한 상황에서는 상류

댐의 안전성을 확보하면서도 동시에 하류 유역의 홍수위를 계획홍수위 이하로 유지시키는 댐 운영은 1990년의 양상에 비해 순조롭게 될 수 있다고 판단되며, 이는 아래의 표를 통해 검증할 수 있다.

아래의 표의 수치를 살펴보면 당시 북한강 및 소양강 유역에서 제어한 유량이 하류부 청평지역에 도달할 때 침투유량이 미소하게 상승하면서도 도달시간이 매우 단축되는 양상을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 단일 댐에 있어서 댐의 안전성을 확보하면서도 유량의 차가 크지 않기 때문에 청평지점까지는 큰 문제가 발생하지 않은 것으로 나타나고 있다. 또한, 여주지점에 있어서도 충주댐의 방류량 제어를 통해 침투유량을 낮추는 효과를 보여 하류부 침수피해를 줄일 수 있는 효과를 본 연구에서 제시한 운영방식이 보이고 있다는 긍정적인 결과를 보이고 있다. 특히, 실제 상황에서는 여주대교로 대표되는 남한강 하류지역의 홍수피해가 컸다는 점을 상기할 때 매우 효율적이라는 판단을 할 수 있다.

이와 같이 당시 상황과 가상제어 결과가 상이하게 나타나는 근본적인 원인을 요약하면 다음과 같다.

i) 북한강 및 소양강 유역에서의 가상방류량은 실제 상황에 비해 댐 자체의 안전성을 위해 예비방류의 형태와 같이 홍수발생 초기에 많이 이루어졌으며, 홍수 중기, 말기에는 적게 이루어졌으나 청평지점에 도달할 때에는 침투유량의 도달시간을 23시간이나 앞당기는 영향을 미쳤다.

ii) 남한강 유역에서의 가상방류량은 여주지점 등 하류유역의 침투유량을 감소시켜 실제 상황과 같은 피해를 감소시키는 영향을 미쳤다.

iii) 이러한 유량이 하류부 팔당 댐에서 유입량 그대로를 방류하는 방식으로 운영되었다고 가정하면 인도교 지점에서는 3,000cms 정도의 증감효과로 나타난다.

표 4. 청평 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1995년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	10,856	-	59	-
Fuzzy1에 의한 결과	12,726	1,870	36	-23
Fuzzy2에 의한 결과	11,441	585	36	-23
Fuzzy3에 의한 결과	10,789	-67	36	-23
주) 유량차 = Fuzzy에 의한 결과 - 실제조작 도달시간차 = Fuzzy에 의한 결과 - 실제조작				

표 5. 여주 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1995년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	16,034	-	65	-
Fuzzy1에 의한 결과	16,999	965	64	-1
Fuzzy2에 의한 결과	12,373	-3661	64	-1
Fuzzy3에 의한 결과	13,270	-2764	65	0

표 6. 인도교 지점에서의 Fuzzy 제어에 따른 침투값의 변화(1995년 홍수)

구분	침투유량(cms)	유량차(cms)	도달시간(hr)	도달시간차(hr)
실제댐조작결과	25858	-	78	-
Fuzzy1에 의한 결과	28576	2718	67	-11
Fuzzy2에 의한 결과	23328	-2530	67	-11
Fuzzy3에 의한 결과	23019	-2839	67	-11

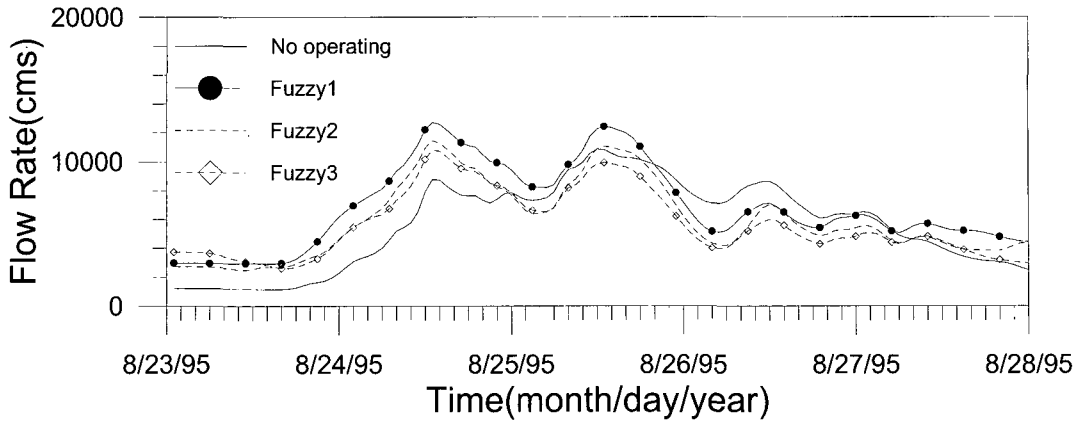


그림 4. 1995년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 청평지점의 수문곡선

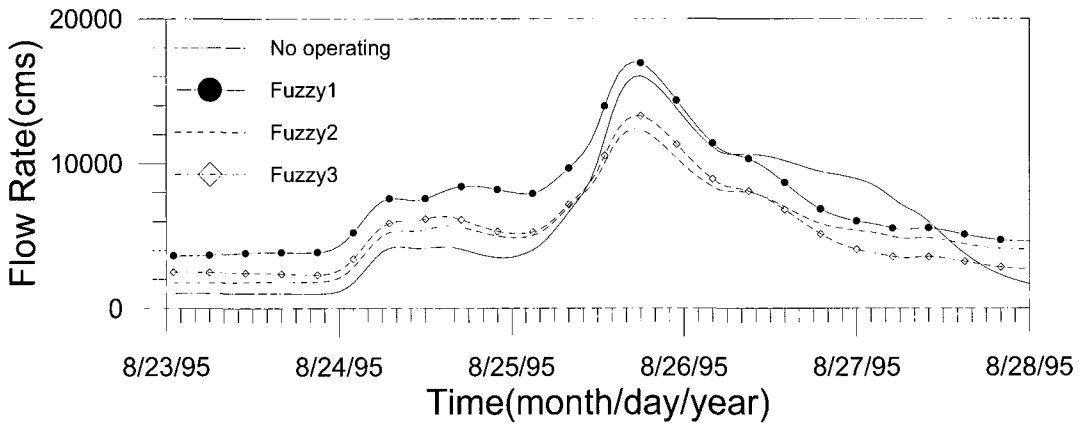


그림 5. 1995년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 여주지점의 수문곡선

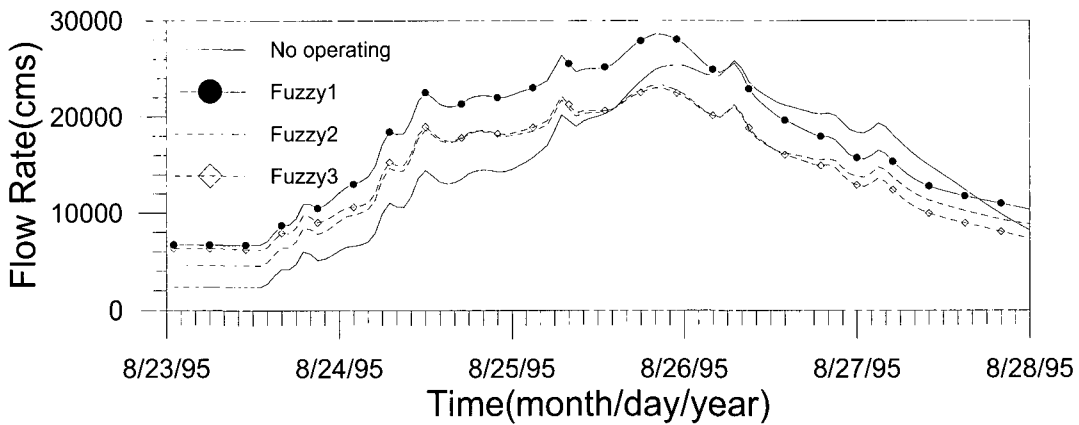


그림 6. 1995년 홍수의 Fuzzy 제어에 따른 인도교지점의 수문곡선

### 3. 연계운형을 위한 검토사항

상류댐의 안전성을 우선으로 하여 운영한 Fuzzy 모형의 결과가 하류부에도 영향을 미치는지 여부를 검토

하여 하류부 수위 또한 가장 낮은 방향으로 운영하는 것이 적절하다고 판단되며, 이것이 바로 댐 간의 연계운형을 위한 검토사항이 된다. 본 연구에서는 이러한 댐 간의 연계운형을 위해 초기 조건에 따라 방류량을

조절할 수 있는 3가지 모형중 Fuzzy I 모형을 기준모형으로 설정하였다. 퍼지1은 방류량 제어를 넓은 범위에서 수행할 수 있는 치수목적의 방식이고, 퍼지2는 퍼지1 모형의 치수효과를 가지면서도 홍수 후의 저수위를 상승시켜 이수적인 효과를 얻기 위한 모형으로 유입량이 상승되는 경우의 제어규칙과 유입량이 하강하는 경우의 제어규칙을 변환시키는 간단한 적응모형(adaptive model)의 형태이다. 퍼지3 모형은 퍼지2 모형을 개선한 적응제어모형(adaptive control model)으로서 유입량의 상승과 하강에 따른 제어규칙 변화를 증가시켜 치수효과와 이수효과를 동시에 거둘 수 있도록 하는 모형이다. 즉, 수문곡선 상승시에는 치수효과를 높이기 위해 방류를 많이 하는 제어규칙으로 변환하고, 하강시에는 이수효과를 높이기 위해 제어규칙을 변화하여 방류를 적게 하도록 제어하였다. 단일 댐 운영의 경우에는 세 가지 모형을 모두 적용하여 그 결과를 비교하였으나, 댐군의 운영에서는 퍼지2는 이수목적이므로 제외하였고, 퍼지3의 경우는 아직까지 제어규칙을 변환하는 self organizing의 알고리즘을 연계운영에 적용할 수준까지 개발하지 못해 이번 연구에서는 적용하지 못하였으며 향후 연구를 통해 적용하고자 한다. 또한 본 연구에서 적용한 fuzzy모형 외에 기존에 적용되고 있는 댐 운영기법을 적용하여 본 모형과의 결과를 비교하는 연구를 시행할 계획이다.

또한 본 연구에서는 연계운영의 전제조건으로 다음과 같은 사항을 고려하였다.

- ① 연계의 대상 댐은 홍수조절능력이 있는 소양강댐, 화천댐, 충주댐, 팔당댐으로 한정한다.
- ② 소양강 댐은 유량이 월류하면 댐 제체의 파괴라는 최악의 상황이 발생할 수 있으므로 타 댐보다 우선하여 방류량을 결정한다.
- ③ 화천댐과 충주댐의 경우 인도교를 기준으로 충주댐의 방류량이 일반적으로 빨리 도달하기 때문에 충주댐의 방류량 조절이 우선한다.
- ④ 각 댐의 방류량은 이수적인 차원을 우선적으로 고려하는 Rule 1을 기준으로 하되 계획홍수위를 초과하는 경우 Rule을 변경하여 방류량을 증가시키는 Rule 2, 3, 4, 5, 6의 순서대로 방류한다.
- ⑤ 각 댐의 최대 방류량은 하류부 피해를 주지 않기 위하여 한계방류량을 우선 기준으로 선정하여 조절되 계획홍수위를 초과하는 경우에는 방류량을 증가시킨다. 그러나 최대 허용방류량은 설계최대방류량을 초과하지 않는다. 단, 팔당댐의 경우는 계획홍수위를 초과할 우려가 있을 때에는 32,000cms를 최대 허용방류량으로 한다.

⑥ 적정 모형의 선정기준은 인도교 최대수위를 기준으로 하여 침투유량이 최소인 경우를 채택한다.

#### 4. 적정 연계운영방안 도출

전술한 바와 같이 전제조건을 고려하여 1990, 1995년 대홍수에 대해 적정 연계운영방안을 도출하기 위해 각각 2,592개의 방류량 제어 상황을 모두 검토하였다. 이와 같은 개수는 소양강 댐, 화천댐, 충주댐, 팔당댐에 대한 Rule 1~6, 한계방류량과 최대 허용방류량의 경우를 모두 고려하여 나타난 상황의 개수를 의미한다. 즉, 제어규칙 1에서 6으로 운영을 하면서 방류량의 최대값을 한계방류량으로 한 경우 각 댐당 제어규칙 6개로 4개의 댐을 연계한 1,296개의 제어상황과, 방류량의 최대값을 최대 허용방류량으로 한 1,296개의 상황을 더한 값이다. 이러한 각 상황에 대한 가상운영결과를 모두 검토하였는데 각 댐의 운영상 특성을 아래와 같이 정리할 수 있었다.

##### 1) 1990년 홍수

전술한 바와 같이 각 댐의 운영을 Rule 1~6까지의 경우와 한계방류량 및 최대방류량의 경우를 고려하여 가상운영한 결과 다음과 같은 표를 얻을 수 있었다.

총 2,592개의 제어 상황중에 최종적으로 10개의 상황으로 선정한 이유는 상류 댐의 방류량 제어규칙은 설계홍수위를 초과하지 않는 경우에는 가급적 방류량을 적게 하도록 Rule 1을 우선적으로 취하였으며, 소양강 댐의 경우는 다른 댐의 방류량 상황을 고려하지 않고 우선적으로 방류량을 결정하도록 하였고, 충주댐의 경우는 계획홍수위를 초과하지 않는 최대 방류량을 방류토록 하는 등의 기준을 설정한 결과이다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 하류부 인도교의 최대 유량의 측면에서 볼 때 강조표시를 한 30,675cms가 상류 각 댐의 안전성을 충족하면서도 하류 피해를 가장 적게 하는 적정 연계 운영규칙이라 할 수 있다. 여기서 물론 화천댐의 경우 Rule 1에서도 설정 조건을 만족하기 때문에 Rule 2~6에서도 댐의 안전성은 확보되지만 하류조건상 최소방류량을 방류토록 하는 방안을 설정한 것이며, 소양강 댐의 경우는 Rule 4 부터 댐의 안전성은 확보되나 하류조건을 고려할 때 예비방류의 개념에서 우선적으로 방류하는 조건이 되며, 충주댐의 경우는 방류량이 여주 및 인도교 지점에 가장 우선적으로 유하되기 때문에 가급적 방류량을 제한하는 조건으로 선정한 결과로 판단된다.

아래의 그림을 살펴보면 각 운영의 결과에서 여주지점 및 청평지점에서 실측 유량보다 약간 상회하는 경

우가 발생하나 각 댐의 방류량 조절에 의한 시간적인 지체효과와 팔당댐의 미소한 홍수조절 효과가 어느 정도 유량을 지체시키는 효과를 가져 인도교 지점에 영향을 준 것으로 판단된다.

결론적으로 1990년 홍수양상에 대해서는 화천댐의 경우 최대한 저류효과를 위주로 한 댐 운영을 하고, 소양강 댐의 경우 북한강 유역의 예비방류효과를 거둘 수 있도록 방류위주의 댐 운영을 하고, 남한강 유역의 피해 최소화를 위해 충주댐은 가급적 저류위주의 댐

운영을 하여야 하며, 팔당댐의 경우 방류위주의 댐 운영을 하는 것이 적절하다는 판단을 할 수 있다.

특히 본 연구에서 제시한 적정 연계운영결과는 실제 발생하였던 충주댐 상류부의 침수피해를 방지하면서도 각 댐의 안전성을 동시에 확보하고 인공과 재산이 집중되어 있는 하류부 인도교 지점에서는 실측 유량과 거의 유사한 방류량을 모의할 수 있었다는 점에서 과거 실제 상황에 비해 치수적인 효과가 뛰어난 운영결과라고 판단된다.

표 7. 하류부 피해를 최소화할 수 있는 각 댐의 운영규칙(1990년 홍수)

선정된 Fuzzy I 모형 운영규칙				인도교 최대유량 (cms)
화천댐	소양강댐	충주댐	팔당댐	
1	4	4	1	32,054
1	4	4	6	30,953
1	4	6	1	33,276
1	4	6	6	31,861
1	6	4	1	32,525
1	6	4	6	30,675
6	4	4	1	32,625
6	4	4	6	31,752
6	6	4	1	33,377
6	6	4	6	31,825

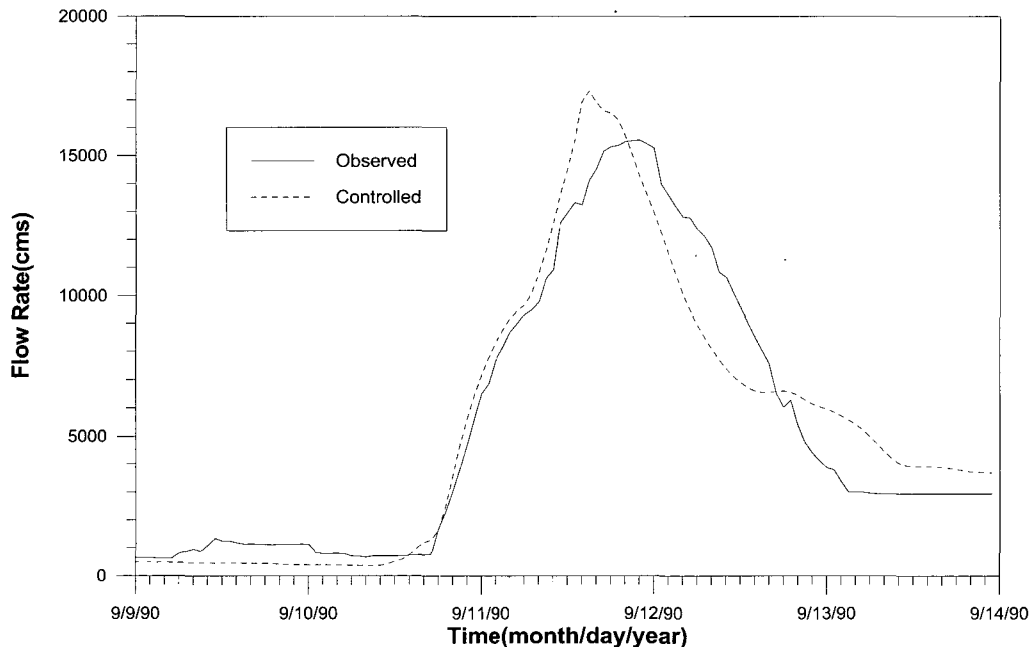


그림 7. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('90년, 청평지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐: Rule1, 소양강댐: Rule6, 충주댐: Rule4)



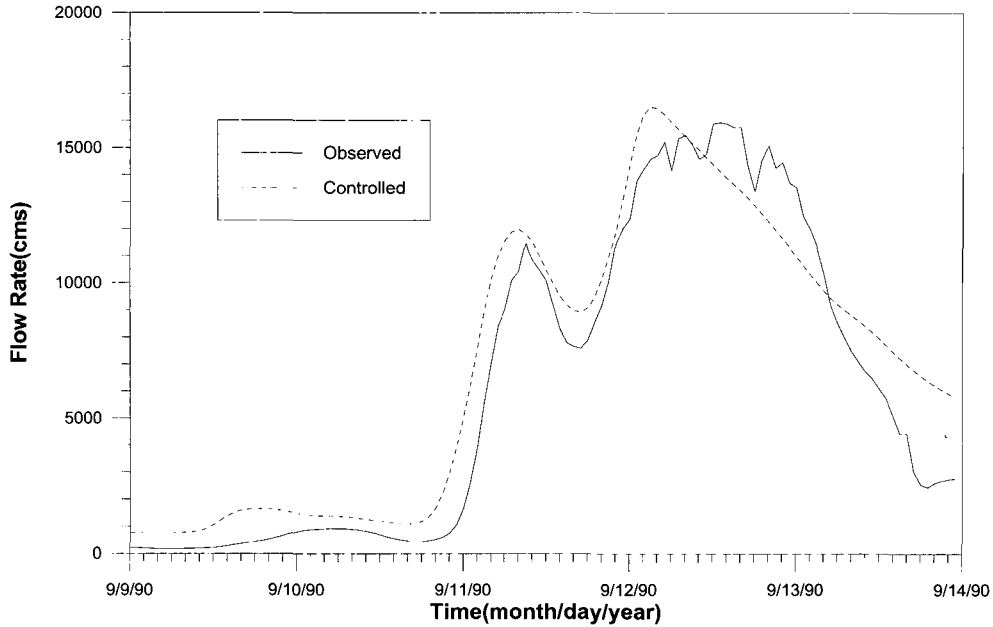


그림 8. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('90년, 여주지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐: Rule1, 소양강댐: Rule6, 충주댐: Rule4)

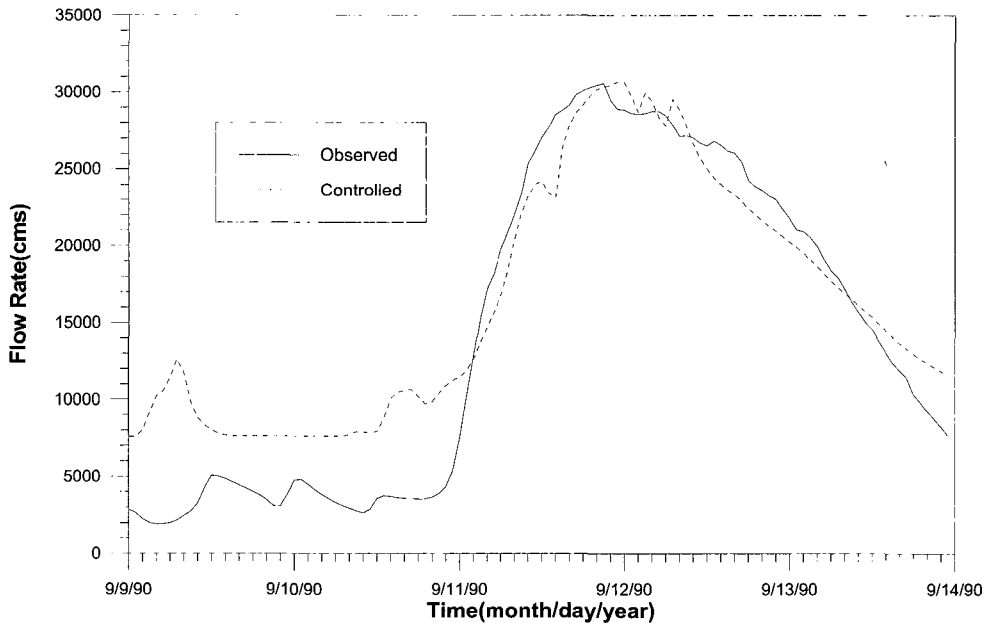


그림 9. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('90년, 인도교지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐:Rule1, 소양강댐:Rule6, 충주댐:Rule4, 팔당댐:Rule6)

## 2) 1995년 홍수

1990년의 홍수와 같은 원칙으로 각 댐의 운영을 모의하여 다음 표와 같은 결론을 얻었다. '90년 홍수보다 많은 16개의 제어상황이 선정된 이유는 '90년 보다 호우형태가 비교적 제어에 유리하여 팔당댐에서 안정적인 경우가 더 많았기 때문이다. 표에서 알 수 있는 바

와 같이 하류부 인도교의 최대유량의 측면에서 볼 때 유량이 가장 적은 경우는 화천, 소양, 충주댐에서 모두 방류를 작게 한 Rule 1의 경우인 22,971cms이며, 이는 관측값 26,959cms 보다 약 3,888cms가 작은 값이다.

즉, '90년과 같이 하류부에 집중호우와 온 경우와는 달리 상류부 댐에서 저류한 효과가 잘 나타나고 있는

것을 알 수 있으며, 상류부 댐에서 방류를 많이 한 경우는 인도교의 유량이 높아져서 이는 상류 댐의 홍수조절 효과가 하류부에도 잘 반영되는 결과라고 볼 수 있다.

아래 그림을 보면 각 운영 결과에 대해 제어를 통한 유량이 실측보다 저감되는 효과를 보인다. 상류댐의 방류량이 많은 Rule로 방류하는 경우 예비방류량에 의해 초기 유량이 다소 실측보다 많은 경향을 보이지만 이

러한 경우에도 첨두유량은 거의 근사함을 알 수 있다.

결론적으로 1995년 홍수양상에 대해서는 상류부 댐에서의 안정성을 유지하면서도 하류부의 피해를 최소화하도록 계획홍수위를 넘지 않는 범위에서 최소한의 방류를 하도록 제어한 상류부에서의 제어의 결과가 하류부에서도 실측값보다 안정적인 효과를 보임을 확인할 수 있었다.

표 8. 하류부 피해를 최소화할 수 있는 각 댐의 운영규칙(1995년 홍수)

선정된 Fuzzy I 모형 운영규칙				인도교 최대유량 (cms)
화천댐	소양강댐	충주댐	팔당댐	
1	1	1	1	23,393
1	1	1	6	22,971
1	1	6	1	25,865
1	1	6	6	25,759
1	6	1	1	25,020
1	6	1	6	23,944
1	6	6	2	28,268
1	6	6	6	27,196
6	1	1	1	24,466
6	1	1	6	22,999
6	1	6	1	25,774
6	1	6	6	24,784
6	6	1	1	24,750
6	6	1	6	24,084
6	6	6	3	28,270
6	6	6	6	27,279

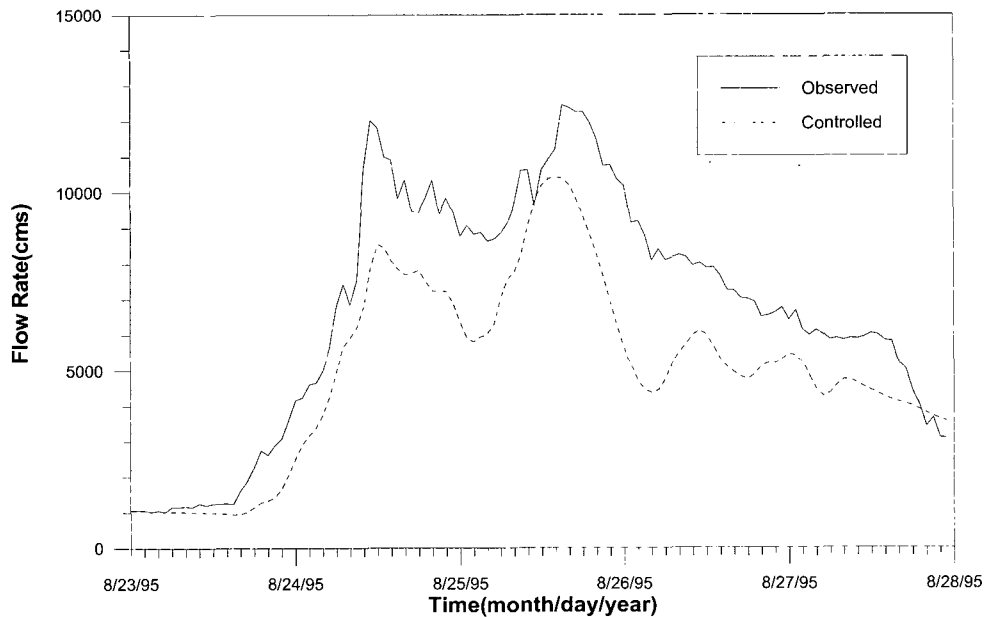


그림 10. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('95년, 청평지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐: Rule1, 소양강댐: Rule1, 충주댐: Rule1)

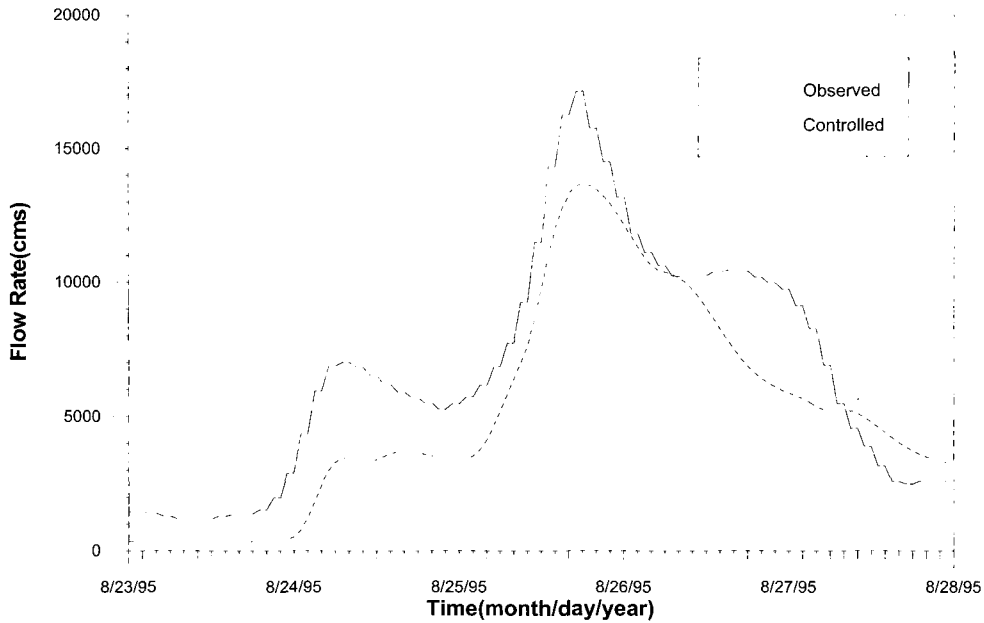


그림 11. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('95년, 여주지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐: Rule1, 소양강댐: Rule1, 충주댐: Rule1)

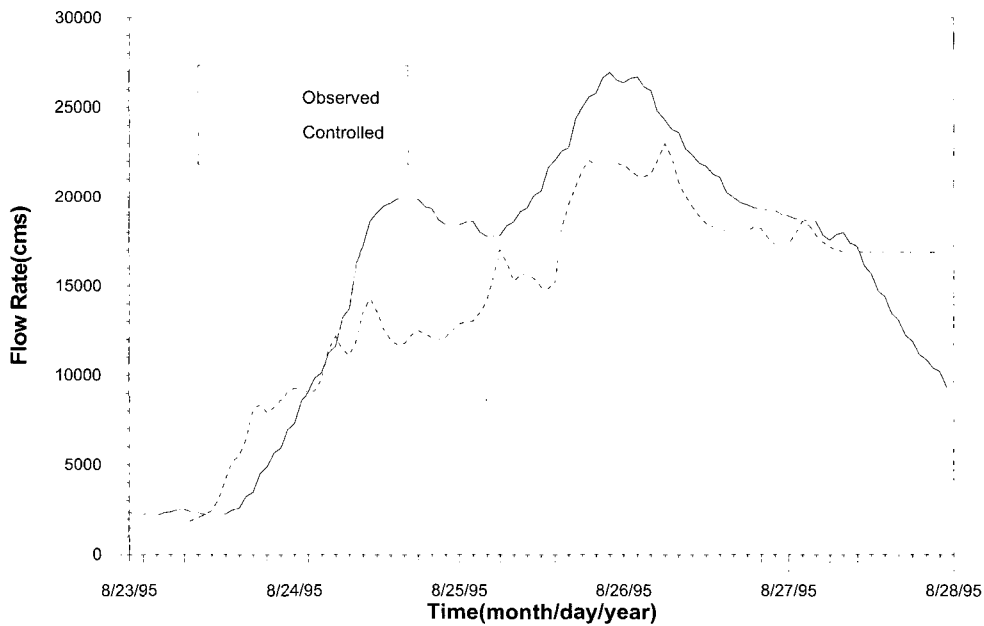


그림 12. 실측 및 Fuzzy 제어에 의한 유량수문곡선 비교('95년, 인도교지점)  
(Fuzzy I 모형, 제어규칙-화천댐:Rule1, 소양강댐:Rule1, 충주댐:Rule1, 팔당댐:Rule6)

## 5. 결론

본 연구는 퍼지제어기법을 이용하여 한강 수계 화천, 소양, 충주, 팔당댐의 연계운영 방안을 제시하고 그 효과를 검증한 것으로서 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 1990년 홍수양상에 대해서는 화천댐의 경우 최대한 저류효과를 위주로 한 댐 운영을 하고, 소양강댐의 경우 북한강 유역의 예비방류효과를 거둘 수 있도록 방류위주의 댐 운영을 하고, 남한강 유역의 피해 최소화를 위해 충주댐은 가급적 저류

위주의 댐 운영을 하여야 하며, 팔당댐의 경우 방류위주의 댐운영을 하는 것이 적절하다는 판단을 할 수 있다.

- 2) 1995년의 경우 1990년 보다 호우형태가 비교적 제어에 유리하여 화천, 소양, 충주댐에서 모두 방류를 작게 한 경우가 가장 효과가 좋았다. 즉, 1990년과 같이 하류부에 집중호우와 온 경우와는 달리 상류부 댐에서 저류한 효과가 잘 나타나고 있는 것을 알 수 있다.
- 3) 본 연구에서 제시한 적정 연계운영결과는 홍수조절 효과가 있음이 확인되었고 실제 발생하였던 상류부의 침수피해를 방지하면서도 각 댐의 안전성을 동시에 확보하고 인공과 재산이 집중되어 있는 하류부 지점에서는 실측 유량과 거의 유사한 방류량을 모의할 수 있었다는 점에서 과거 실제 상황에 비해 치수적인 효과가 뛰어난 운영결과라고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Kosko, B.(1992), *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, pp. 1~11, pp. 299~338.
- 심재현, 김지태, 허준행, 김진영(2004). X 퍼지제어모형을 이용한 다목적 댐의 홍수조절모형(I)-단일댐의 운영모형 개발-X 한국방재학회논문집, 제4권, 제1호, pp.33-40.
- 심재현, 김지태, 조원철, 김진영(2004). X 퍼지제어모형을 이용한 다목적 댐의 홍수조절모형(II)-과거홍수사상에 대한 적용-X 한국방재학회논문집, 제4권, 제1호, pp.41-50.

- ◎ 논문접수일 : 2004년 6월 07일
- ◎ 심사의뢰일 : 2004년 6월 09일
- ◎ 심사완료일 : 2004년 9월 20일