

홍수시 충주댐 운영 방안의 개발
(A Comparative Study of Reservoir Operations
for Flood-Control of the chungju Dam)

* 위 길 성

** 정 동 국

1. 서론

남한강에 다목적댐인 추주댐이 금년말 완공됨에 따라 북한강의 소양강 댐과 함께 홍수기(6 - 9월)에 이들 댐의 연계 운영에 의한 하류부의 홍수 피해를 최소화하는 방안이 강구되어야 한다. 이를 위해서 홍수조절을 위한 충주댐 단일 운영방안의 개발이 선행되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 댐 및 저수지 특성과 하류하도의 홍수능등을 고려 하여 수립된 제약조건과 빈도별 유입량 자료중, 충주댐의 여수로 홍수 유입 수문곡선을 사용하여 기 개발된 Spillway Rule Curve (SRC) 에 의한 방안과 현재 소양강댐 운영 방안인 Rigid ROM, 그리고 Linear Decision Rule(LDR) 에 의한 방안을 적용하였다. 그리고 각 운영 방안을 여러가지 설계빈도에 대한 비교 검토를 하여 홍수시 충주댐의 최적 운영 방안을 Simulation 에 의하여 검토하였다.

그리고, 본 연구에서는 하도 및 저수지의 홍수추적에 의한 남.북한강 합류점의 유량을 고려한 분석은 제외하였다.

* 서울대학교 공과대학 토목공학과 조교수

** 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

2. 수리.수문학적 제약조건의 수립

가) 유입량 자료의 수집

충주댐의 빈도별 유입수문곡선 자료는 1917-76년 사기의 연 최대 홍수량 자료를 사용하여 빈도 분석한 충주댐 Design Report(ref.2)의 결과중 Gumbel 방법에 의한 것(표 1)을 사용하고, Spillway Design Flood(200년 빈도, $I_p = 16000 \text{ m}^3/\text{sec}$)는 그림 1과 같다.

각 빈도별 유입수문곡선은 PMF 수문곡선($I_p = 26680 \text{ m}^3/\text{sec}$)의 ordinate 를 첨두유량의 비로서 산정하였다.

표 1. 빈도별 첨두유량

T _r (yr.)	5	10	25	50	100	200	500	PMF
I_p peak (m^3/sec)	7490	9160	11300	12900	14400	16000	18000	26680

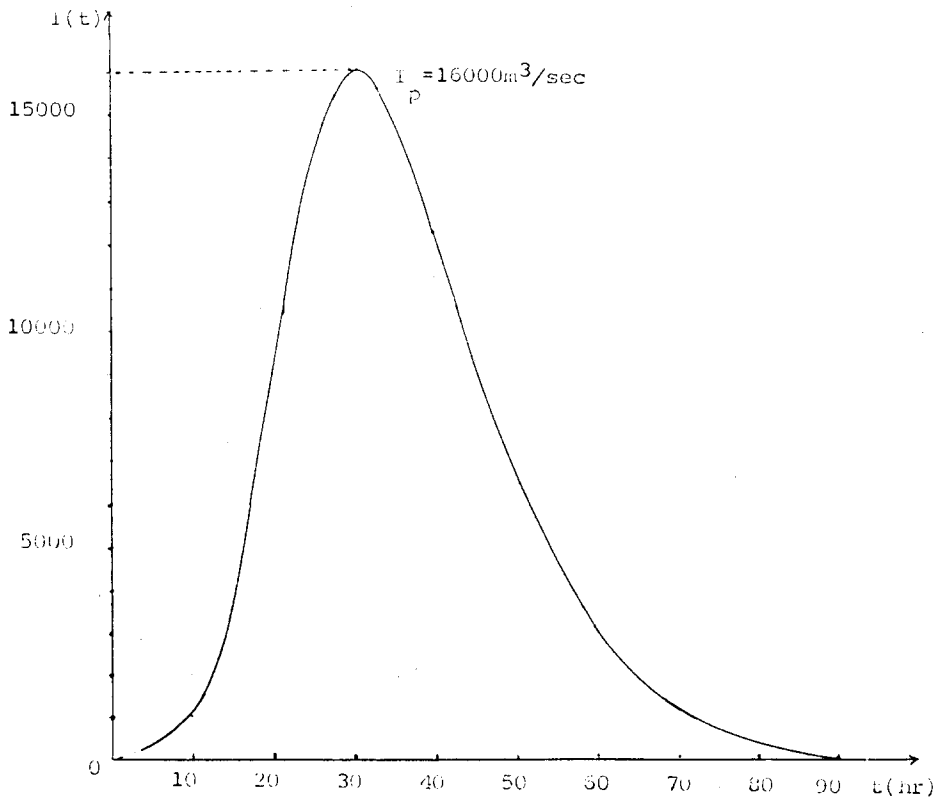


그림 1. 200년 빈도 유입 수문곡선

나) 수리.수문학적 제약조건

a. 댐 및 저수지 특성

Constraint	H(m)	S($\times 10^6 m^3$)	U(m^3/sec)	비 고
Spillway Crest	<u>125.0</u>	1200.0	0.0	} 600 m^3
제한 수위	<u>133.0</u>	2027.0	7627	
Surcharge Water Level	<u>139.5</u>	2158.0	8147	
홍수위	<u>145.0</u>	2627.0	16000	
Dam Crest	<u>147.5</u>	2909.0	19500	
무해 방류량	130.4	1482.0	<u>1700</u>	} ref.1
한계 방류량	141.8	2373.0	<u>11900</u>	

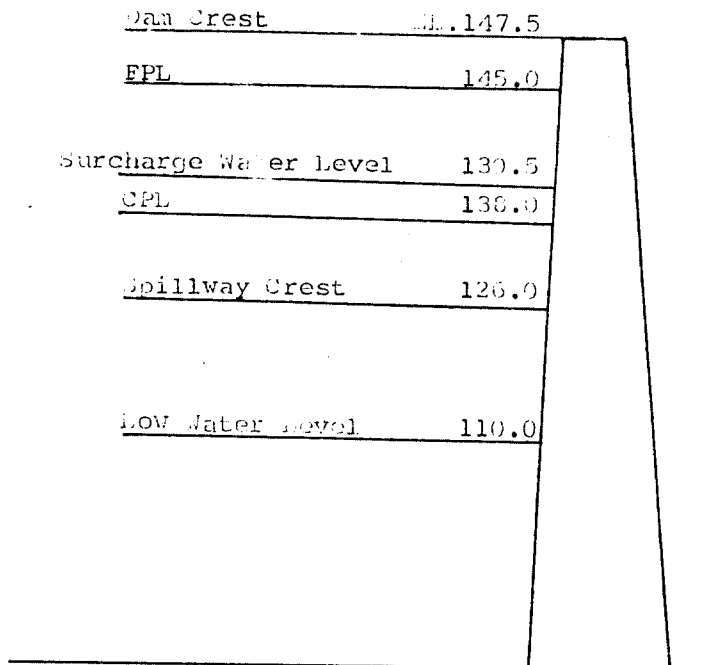


그림 2. Dam Configuration

b. 수위에 따른 방류 능력(Storage Indication Curve)

충주댐의 H-S 관계와 I-O 관계로 부터 Storage Indication Curve 를 도출하였다. H-S 및 H-O 의 관계는 다음과 같다. (ref.4)

$$S = 7.181 \times 10^9 - 1.540 \times 10^8 H + 3.459 \times 10^5 H^2$$

$$Q = n \cdot C \cdot S^{3/2}$$

이상의 관계도 부터 구한 Storage Indication Curve 은 다음과 같다.

$$O_t = 0.3632(SI-1200)^{1.4705}, r=0.998, D.F.=26$$

$$SI = S_t + \frac{1}{2} O_t \cdot \Delta t \quad (\Delta t = 3600 \text{sec})$$

3. 충주댐 운영방안의 검토

충주댐 운영방안은 Gate operation 을 고려한 SRC 에 의한 방안과 유입량을 고려한 일정률-일정량 방류를 행하는 rigid rule고리고 저류량의 변화에 따른 LDR 을 적용할 수 있다. 각 방안의 적용시 고려하여야 할 사항은 아래와 같다.

- (1) 제한 수위 이하에서는 방류 하지 않는다.
- (2) 홍수 감쇄기에는 저수위를 홍수위(145.0)으로 유지하고, 홍수위 이하일 경우는 방류량 > 유입량으로 되는 구간부터 방류량 = 유입량으로 한다.

가) SRC 에 의한 운영 방안

- ① 홍수초기에 $I_t < 200 \text{m}^3/\text{sec}$ 이면 $O_t = I_t$
- ② $138.0 \text{m} < H_t \leq 139.5 \text{m}$ 이면 $O_t = 200 \text{m}^3/\text{sec}$
- ③ $139.5 \text{m} < H_t \leq 145.0 \text{m}$ 이면 Spillway Rule Curve 에 따라 방류한다.
- ④ $H_t > 145.0 \text{m}$ 이면 자유울류 방류한다.

4) Rigid ROM

댐 운영방안으로 Rigid ROM을 적용하기 위해서는 우선 일정률 방류를 위한 일정률을 산정해야 한다. 따라서 저수위의 변화에 따른 최대 방류능력을 고려하면서 200년 빈도 유입수문곡선에 대하여 최대 저수위가 145.0 m 가 되도록 일정률을 산정한다.

a. 일정률의 산정

200년 빈도의 유입수문곡선에 대하여 아래식에서 계산된 총 저류량이 홍수 조절용량이 되도록 일정률을 산정한다.

$$S = (1 - CR) \int_{T_0}^{T_p} I(t) dt + \int_{T_p}^{T_E} I(t) dt - (T_E - T_p) \cdot I(T_E)$$

여기서, S; 총 홍수조절 용량 (600mm³)

CR; 일정률 (=O(t)/I(t), t < T_p)

I(t); 200년 빈도 유입량

O(t); 방류량

T₀; 홍수 시작 시각

T_p; I_{max} 가 일어나는 시각

T_E; I(t)=O(t) 가 되는 시각

Simulation 한 결과, 산정된 값들은 아래와 같다.

$$CR = 0.507$$

$$O_{const} = 8112.0 \text{ m}^3 / \text{sec} \quad (H = 138.47 \text{ m})$$

$$\text{홍수 조절량} = 600.0 \text{ m}^3$$

b. Operation Method

- ① $O_t = 0.507 I_t, t \leq T_p$
- ② $T_p < t \leq T_E$; if $H_t \leq 145.0$, $O_t = 0.507 I_{max}$
- ③ $t > T_E$; if $H_t \leq 145.0$, $O_t = I_t$
- ④ $H_t = 145.0$ & $8112.0 < I_t \leq 16000$; $O_t = I_t$
- ⑤ $H_t > 145.0$; Uncontrolled Release

다) Linear Decision Rule 에 의한 운영 방안

일반적으로 저수지에서의 방류형태는 저수지를 선형으로 가정하여
 $LDR(O=C_1 \cdot S+C_2)$ 에 따라서 방류할 수 있다. 먼저, 주어진
 설계 빈도 유입 수문곡선에 대하여 한계 방류량에 대한 제약 조건을
 만족시키면서 홍수 조절 용량 600 Mm^3 으로 홍수 조절이 가능하도록
 C_1, C_2 를 산정하고, 산정된 LDR 에 의하여 Operation 한다.

a. Constant C_1, C_2 및 한계 방류량이 일어나는 시점에서의 S^* 의
 산정

C_2 를 충주댐 Design Report 의 값인 $200 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 한 경우와
 무해 방류량 = $1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 한 경우에 대하여 C_1 및 S^* 를 산정
 한다.

$$0 = C_1 (S^* - 215)$$

$$C_1 = (0 - C_2) / ($$

상기 식에서 주어진 C_2 에 대하여 S^* 를 2352 ($H=141.8, O_H=11900$)
 에서 2627 ($H=145.0, O_H=16000$) 까지 변화시키면서 Simulation
 하여 홍수조절용량 이하에서 200년 빈도 홍수를 조절 가능하도록 $C_1,$
 S^* 를 산정한 결과는 아래와 같다.

i) $C_2 = 200 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$C_1 = 25.161$$

$$S^* = 2623 (H=144.98)$$

$$S_{\max} = 2626 \text{ Mm}^3 (\text{조절용량} = 599 \text{ Mm}^3)$$

$$O_{\max} = 11900 \text{ m}^3/\text{sec}$$

ii) $C_2 = 1500 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$C_1 = 24.947$$

$$S^* = 2627 (H=145.0)$$

$$S_{\max} = 2607 \text{ Mm}^3 (\text{조절용량} = 580 \text{ Mm}^3)$$

$$O_{\max} = 11468 \text{ m}^3/\text{sec}$$

b. Operation Method

- ① 홍수 초기에 $I_t < C_2$; $U_t = I_t$
- ② $138.0 < H_t \leq 139.5$; $U_t = C_2$
- ③ $139.5 < H_t \leq H(S^*)$; $U_t = C_1(S-2158) + C_2$
- ④ $H(S^*) < H_t \leq 145.0$; $U_t = 11900$
- ⑤ $H_t = 145.0$ & $11900 < I_t \leq 16000$; $U_t = I_t$
- ⑥ $H_t > 145.0$; Uncontrolled Release

라) 각 방안의 특성 비교

200년 빈도 유입 수문곡선에 대한 각 방안의 저수위에 따른 방류 형태는 그림 3과 같다. 그림에서 보면, 저수위가 대략 143.0-144.0 구간 이전까지는 방류의 크기가 Rigid ROM, LDR, SRC 순으로 나타나지만, 이후에는 SRC, LDR, Rigid ROM 순으로 나타난다. SRC 와 LDR 방안의 초기 수직 구간은 Surcharge Water Level 의 고력에 의한 일정량 방류를 나타내고 Rigid ROM 의 수직 구간 은 일정량 방류를 나타낸다. 그리고, Rigid ROM 과 LDR 방안의 plat 한 구간은 저수위가 145.0에 이르면 145.0에서의 방류능력 16000 m³/s 까지 유입량이 이 구간에 있으면 유입량만큼 방류하게 된다.

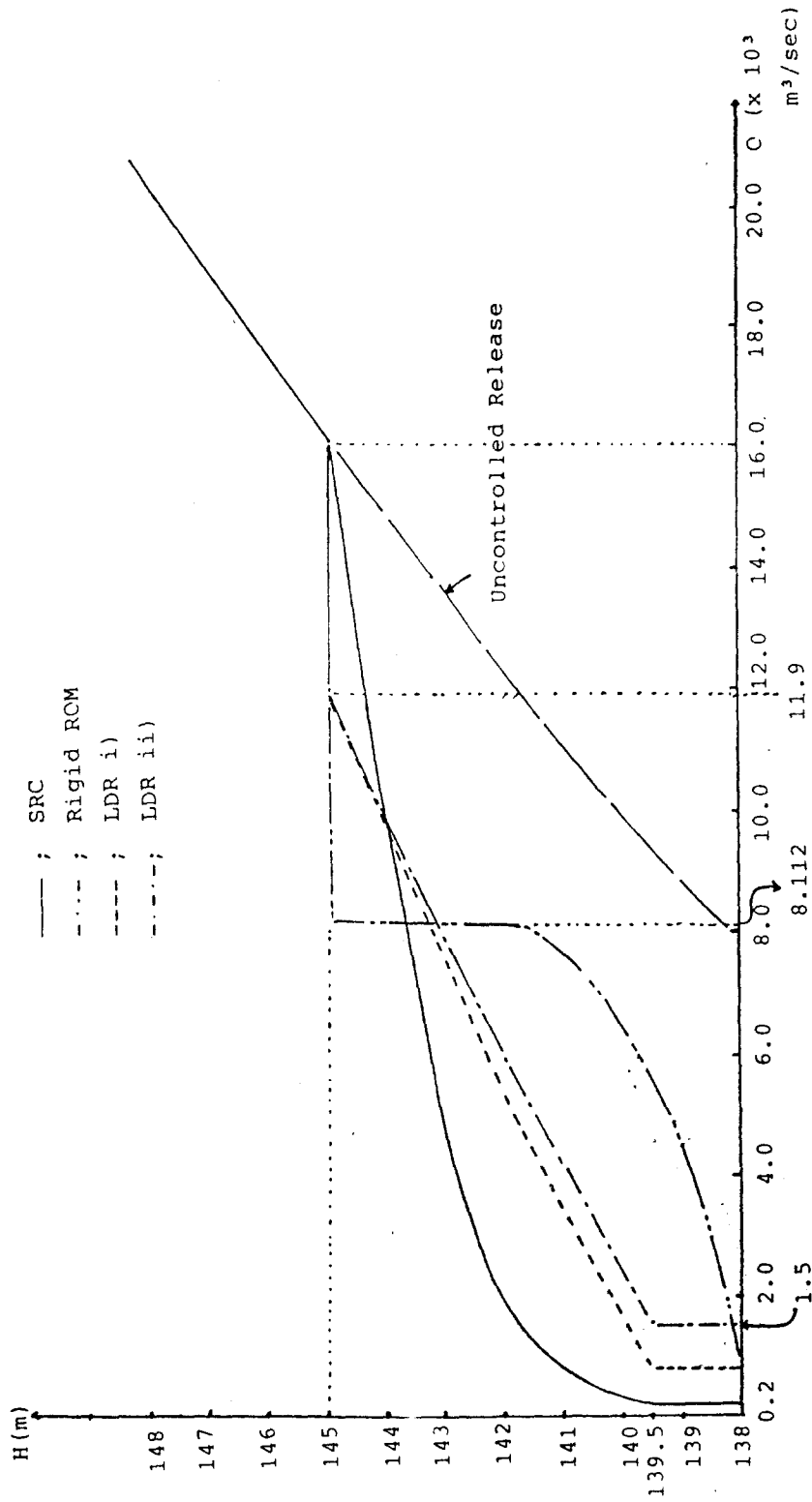


그림 3. 200년 빈도 유입수문곡선에 대한 각 방안의 저수위에 따른 방류 형태의 비교

4. 결과의 분석

200년 빈도 홍수에 대하여 산정된 각 방안을 5년 빈도 - PMF 에 적용하여 각 빈도별 홍수에 대한 조절 효과를 담 하류부의 홍수 피해를 줄이기 위한 첨두 유량의 조절과 홍수 조절용량의 효율적인 운용의 측면에서 홍수 조절용량의 조절의 관점에서 비교 검토한다.

Rigid ROM, SRC, 그리고 LDR 에 의한 운영방안을 적용한 결과, 첨두 유량의 조절 효과면에서 보면 표 2와 같이 200년 빈도 이하의 홍수에 대해서 SRC 방안은 홍수가 커짐에 따라 조절 효과가 감소하고 50년 이상의 빈도 홍수에 대해서 한계 방류량 이하로 조절할 수 없으나 Rigid ROM 및 LDR 방안은 거의 일정한 조절 효과를 나타내고 한계 방류량 이하에서 조절 가능하다. 또한, 홍수 조절량의 이용률의 관점에서는 표 3과 같이 200년 빈도 이하의 홍수에 대해서 200년 빈도의 경우를 제외하고는 SRC 방안이 좋으나 200년 빈도 이상의 홍수에 대해서는 Rigid ROM 이 가장 좋은 방안이다. 이상의 두 관점에 대하여 조절 효과를 순위별로 나타내면 표 4와 같다.

그리고, 담에서 실제 조작 방안의 운용시에 Rigid ROM 은 Surcharge Water Level 을 고려하지 않고 홍수 초기부터 일정을 방류를 행하고, 또한 방류량이 유입량의 함수이므로 담의 운용이 어렵다. 그러나, SRC 및 LDR 방안이 저수위의 변화에 따라 방류량을 결정하므로 실제 조작 시 용이하다.

이상의 조절효과와 조작의 용이점을 동시에 고려하면, 200년 빈도 이하의 홍수에 대해서는 빈도가 잦은 홍수 (50년 이하) 에 대해서는 SRC 방안이, 그 이상의 홍수에 대해서는 LDR 방안이 효과적이다. 그리고, 200년 빈도 이상의 홍수에 대해서는 수문 조작이 용이하고 홍수위에서 방류량의 변화가 적은 LDR 이 최적안으로 사료된다.

그리고, 유입량의 예측이 가능한 경우에 rigid ROM의 일정률, LDR의 계수를 홍수에 따라 산정하여 각 방안을 적용함으로써 홍수 조절 효과를 최대화 할 수 있을 것이다.

표 2. 각방안에 대한 최대 방류량 및 조절율의 비교

빈도 (yr)	I _{peak} (m ³ /s)	U _{peak} (m ³ /sec)				조절율 (%)			
		SRC	Rigid ROM	LDR i)	LDR ii)	SRC	Rigid ROM	LDR i)	LDR ii)
5	7490	4637	3797	5263	5009	38.09	49.31	29.73	33.12
10	9160	6512	4644	6601	6307	28.91	49.30	27.94	31.15
25	11300	8749	5729	8286	7925	22.58	49.30	26.67	29.87
50	12900	10526	6540	9528	9135	18.40	49.30	26.14	29.19
100	14400	12195	7301	10705	10269	15.31	49.30	25.66	28.69
200	16000	13790	8112	11900	11468	13.81	49.30	25.63	28.33
500	18000	16017	13338	16478	15252	11.02	23.12	8.46	15.27
PMF	26680	20211	19310	20711	20391	24.25	27.62	22.37	23.57

주) * 조절율 = $(I_{peak} - U_{peak}) / I_{peak}$

표 3. 각방안에 대한 최고 저수위 및 저수지 이용률의 비교

빈도 (yr)	SRC	H _{max} (m)			이용율 (%)			
		Rigid ROM	LDR i)	LDR ii)	SRC	Rigid ROM	LDR i)	LDR ii)
5	142.9	141.2	141.8	141.3	70.00	45.71	54.29	47.14
10	144.3	142.0	142.5	142.0	75.71	57.14	64.29	57.14
25	143.8	142.9	143.2	142.85	82.86	70.00	74.29	69.29
50	144.1	143.6	143.8	143.5	87.14	80.00	82.86	78.57
100	144.35	144.2	144.3	144.1	90.71	88.57	90.00	87.14
200	144.6	145.0	145.0	144.05	94.28	100.00	100.00	95.00
500	145.1	145.0	145.1	145.0	101.43	100.00	101.43	100.00
PMF	148.0	146.8	147.6	147.4	142.86	125.71	137.14	134.29

주) * 이용률 = (최고저수위 - 제한수위) / (홍수위 - 제한수위)

이용률은 100%에 가까울 수 높다.

표3. 빈도별 홍수에 대한 각 방안의 조절효과 순위

빈도		Operation Method			
		SRC	Rigid ROM	LDR i)	LDR ii)
200yr 이하	H_{max}	1	3	2	4
	U_{max}	4	1	3	2
200yr 이상	H_{max}	4	1	3	2
	U_{max}	3	1	4	2

References

1. 한강하천 정비 기본 계획, 건설부, 1977.12.
2. Preliminary Design Report of Chungju Multipurpose Dam Project, Nippon Koei, 1978.5.
3. Final Detailed Design Report of Chungju Multipurpose Dam Project, Nippon Koei, 1979.4.
4. Chungju Multipurpose Dam Project; Hydraulic and Structural Calculation Report Vol.1, Nippon Koei, 1979.9.
5. Chungju Multipurpose Dam Development Project; Report on Forecasting System, Nippon Koei, 1983.7.
6. Chungju Multipurpose Dam Project; Operation and Maintenance Manual Draft Vol.1 Civil Structures, Nippon Koei, 1984.5.
7. 충주 다목적댐 건설에 따른 한강 홍수 예경보 프로그램 개선 2차 중간 보고서, 한강홍수 통제소, 1984.12.

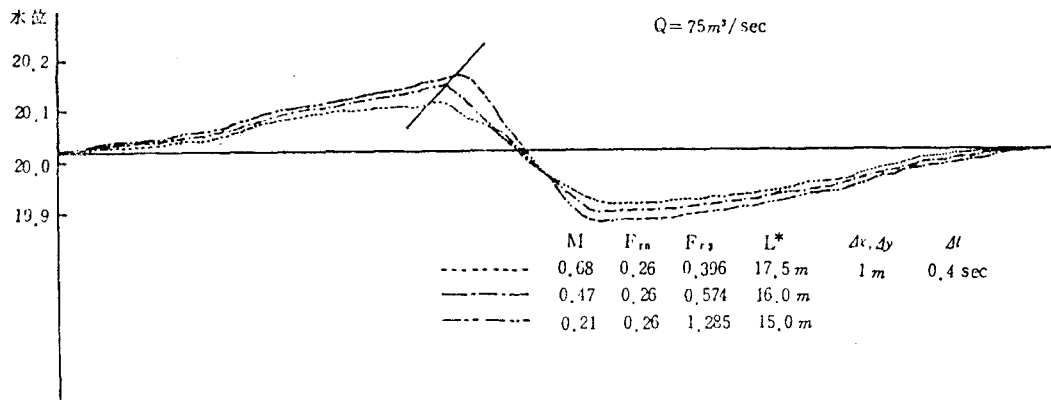
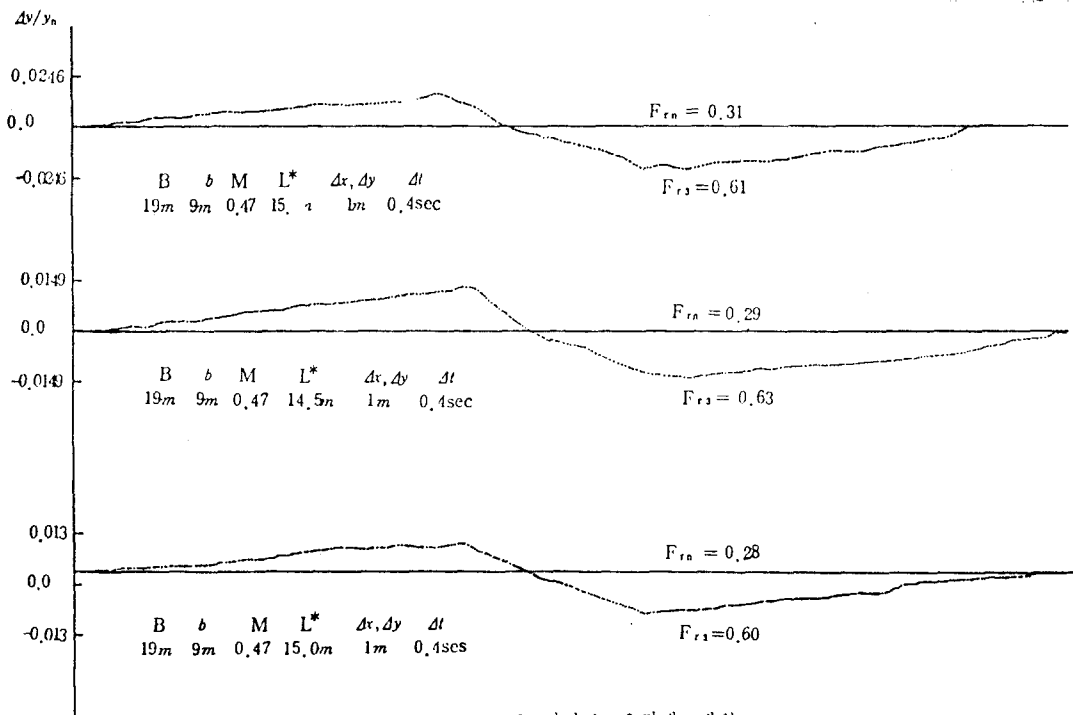


그림 2. 상이한 유량에 대한 수면변화



3. 상이한 유량에 대한