

# LRCS 강우-유출 모형의 보정 및 민감도 분석(II) : 적용 Calibration and Sensitivity Analysis of LRCS Rainfall-Runoff Model(II): Application

오 규 창\* / 이 길 성\*\* / 이 상 호\*\*\*  
Oh, Kyu Chang / Lee, Kil Seong / Lee, Sang Ho

### Abstract

This paper confirmed the applicability of model to Korean rivers through the calibration and sensitivity analysis of LRCS rainfall runoff model for 18 storm events of Songriweon station in Nakdong river system, and achieved that LS and WLS were better than LAD by model fitting results. Diagonal element of "hat" matrix and affluence measures were used by analysis of parameter estimates, and parameter IL was the most important parameter in model output. By the results of error propagation according to parameter error, parameters IL, TP, F1 were affected by error propagation, and this is measure of sensitivity for the model output. This paper confirmed the relationship of calibration and sensitivity analysis of model through analysis of sensitivity coefficient, diagonal element  $h_i$ , and  $D_i$ .

*keywords:* rainfall-runoff model, parameter, calibration, sensitivity

### 요 지

본 논문은 LRCS 모형을 낙동강 수계 송리원 수위표 지점의 18개 호우사상에 대하여 보정 및 민감도 분석을 실시하여 모형의 국내 하천에 적용성을 확인하였고, 모형의 적합성 분석 결과 LAD 추정자가 LS와 WLS에 비하여 좋지 못한 결과를 얻었다. "hat" 행렬의 대각 요소( $h_i$ )와 영향성 척도( $D_i$ )를 매개변수 추정치를 분석하는데 사용할 수 있고, 매개변수 IL이 모형 출력에 가장 중요함을 알 수 있었다. 매개변수의 오차에 따른 오차 전파의 정도는 IL, TP, F1의 순서이며, 이는 모형의 출력이 침투유량일 경우에 민감도의 정도를 나타낸다. 민감도 계수와  $h_i$ 의 대각 요소와  $D_i$  값의 분석과 모형의 보정 및 민감도 분석의 관련성을 확인하였다.

**핵심용어 :** 강우-유출 모형, 매개변수, 보정, 민감도

\* 신우 엔지니어링 상무  
Director, Shinwoo Engrg., Co., Seoul 137-130, Korea  
\*\* 서울대학교 교수  
Prof., Dept. of Civil Engrg., Seoul National Univ., Seoul 156-741, Korea  
\*\*\* 부경대학교 조교수  
Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Bukyong National Univ., Pusan, 608-737, Korea

## 1. 서론

본 연구에서는 Lee와 Lee(1995)가 제안하였고, 이 상호(1993)가 한강 수계의 화천, 원통, 인제, 서면, 문막, 영월1, 영월2 수위표 지점에서 검증(verification)을 실시하였고, 오규창(1998)은 낙동강 수계의 송리원 수위표 지점에서 검증을 실시한 바 있는 사상형 모형인 LRCS(Linear Reservoir and Channel System) 모형에 대해 민감도 분석 및 보정 과정에 나타나는 목적함수에 따른 출력의 변화 양상과 오차의 전파에 따른 민감도와 매개분산의 변화 양상을 파악하고자 하였다. 또한 본 모형을 국내의 강우 및 유출 자료에 적용함으로써 모형의 적용성을 검토하고자 하였다.

## 2. 모형의 보정 및 민감도 분석 결과

### 2.1 실험 자료

본 연구에서 선정된 대상유역은 그림 1과 표 1에서 보는 바와 같이 낙동강 수계의 제 1지류인 내성천 중류에 위치한 송리원 수위표 지점이며 호우사상의 수는 18개이다. 대상유역에 대한 강우관측소는 표 2와 같으며,

수위관측소의 수위-유량 관계 곡선식은 표 3과 같다.

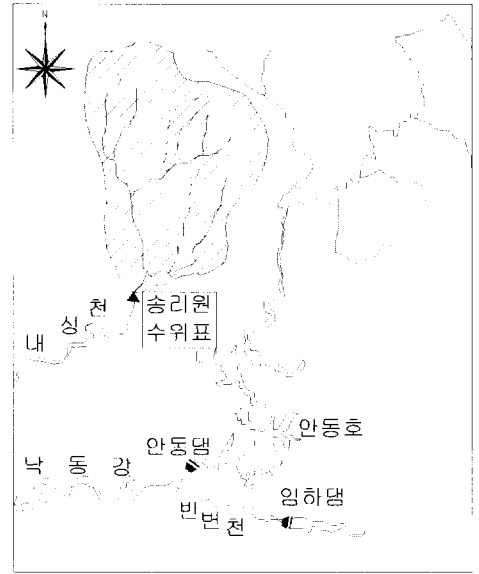


그림 1. 송리원 수위표 지점의 위치도

표 1. 대상 유역의 특성

수계명	하천명	수위관측소명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유로연장 (km)	비고 (호우사상의 개수)
낙동강	내성천	송리원	476.6	63.80	18

표 2. 송리원 유역의 우량 관측소

번호	우량관측소	주소	지배면적 (km <sup>2</sup> )	티센계수	비고
1	부석	경북 영양군 부석면 소천리	174.8	0.367	건설교통부
2	영주(C)	경북 영주군 영주시 영주 4리	156.9	0.329	기상청
3	석현	경북 봉화군 춘양면 석현리	61.9	0.130	건설교통부
4	도천	경북 봉화군 명호면 풍호리	83.0	0.174	건설교통부

표 3. 수위-유량 곡선식

수계명	하천명	지점명	수위-유량곡선식	발췌분헌
낙동강	내성천	송리원	$Q = 5.20 + 34.44h + 31.57h^2$	○수문조사년보(1982) ○홍수량추정조사 보고서(1983.12)
			$Q = 3.57 + 26.01h + 89.10h^2$	○수문조사년보(1983) ○홍수량추정조사 보고서(1983.12)

\* Q : 유량 (m<sup>3</sup>/s), h : 수위 (m)

## 2.2 보정결과 분석

### 2.2.1 모형의 적합성 분석결과

모형 보정을 위하여 수집된 18개 호우사상에 대하여 3개의 목적함수를 사용하여 구한 침투유량, 침투유량 발생시간 및 유출용적의 수문특성은 표 4와 같으며, 목적함수에 따른 수문곡선의 비교는 그림 2와 같다.

1983년 8월 9일 호우사상은 LS와 WLS는 침투유량은 25~29% 과소 추정, 유출용적은 0.2~5% 과대 추정되고, LAD는 침투는 45%, 용적도 11% 정도 과소 추정된다. 이는 침투가 급격히 발생하기 때문으로 사료된다. 1984년 7월 12일 호우사상은 침투는 LS와 WLS는 실추치와 거의 같고 LAD가 6.5% 과소 추정되며, 유출용적은 4~8% 과소 추정되었으나, 침투발생시간이 3시간(10%) 정도의 차이가 발생하여 CME가 0.88에 불과하다. 1984년 9월 2일 호우사상은 이중 침투를 보이고 있으며, LS와 WLS는 침투가 실추치의 98~99%이고, LAD는 침투가 91%에 불과하며, 용적은 97~102%를 나타내고 있다. 1987년 7월 21일 호우사상은 이중 침투를 보여주고 있으며, 예측치의 침투유량이 실추치의 침투유량보다 100 m<sup>3</sup>/s 이상 작다. 즉, 침투는 8~12%, 용적은 4~7% 과소 추정되었다. 이는 1차 침투가 발생한 후 2차 침투가 순식간에 발생하였음을 알 수 있다. 1991년 7월 16일 호우사상은 LS와 WLS는 침투가 1~3%, 용적은 3~4% 과소 추정되었고, LAD는 침투유량이 22%, 용적이 8% 과소 추정되어 실추 수문곡선과 많은 차이를 보여주고 있다. 1991년 7월 20일 호우사상은 일차로 최대 침투가 급격히 발생하는 이중 침투를 보여 주고 있으며, LS는 침투는 11%, 용적은 4%, WLS는 침투는 8%, 용적은 2%, LAD는 침투는 21%, 용적은 7% 정도로 과소 추정되고 있으며, PETP가 15~20 %이므로 CME(Coefficient of Model Efficiency) 값도 0.85 정도에 불과하다. 1991년 7월 24일 호우사상은 중간에 최대 침투가 발생한 3중 침투 형태를 보여 주고 있으며, LS와 WLS는 침투가 12% 과소 추정, 용적이 1% 과대 추정되었고, LAD는 침투는 5%, 용적은 9% 과소 추정되고, CME 값도 0.77에 불과하다.

이상의 18개 호우사상의 보정 결과 LAD 추정자가 모형의 적합성 분석 결과와 도시적으로 비교한 결과 LS와 WLS 추정자에 비하여 실추 수문곡선과 많은 차이를 보이고 있다. PETP 값이 크면 CME 값이 작

게 나타나는 경향을 보이고 있다. 그리고 침투가 단일 침투인 경우가 침투가 급속히 발생한 경우를 제외하고는 다중 침투를 가진 사상 보다 모의발생 결과가 우수하였고, 침투유량 보다는 유출용적의 결과가 실추치에 가깝다. 또한, CME 값이 대부분의 사상에서 0.9 이상이고, 침투유량과 유출용적도 실추치에 근접한 값을 보여 주고 있어서 본 LRCS 강우-유출 모형이 국내 하천에 적용성을 확인할 수 있다.

### 2.2.2 매개변수의 영향성 분석 결과

"hat" 행렬의 대각요소 ( $h_i$ )와 매개변수의 영향성 척도 ( $D_i$ )를 침투유량에 대하여 구하면 표 5와 같다.  $h_i$  값이 1에 가까운 값일수록 잔차에 대한 영향성은 크다. 즉,  $h_i$  가 1에 가까운 값이면 매개변수 추정치는 비현실적이며,  $h_i$  값이 0.5보다 크면 매개변수 추정 값에 대한 주의를 요한다. 또한  $D_i$  가 1보다 크면 매개변수 추정치는 매우 비현실적인 추정치이다.

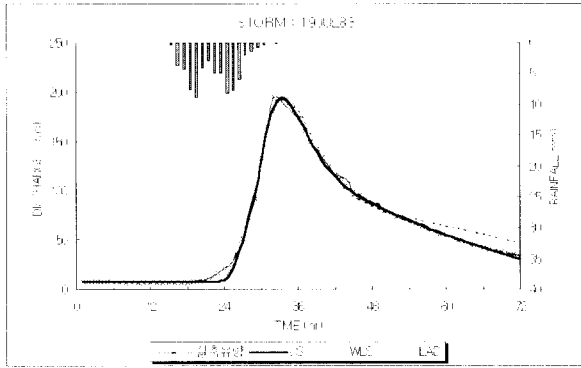
$h_i$  값이 0.5 이상 되는 호우사상에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 1984년 9월 2일 호우사상에서 LAD 추정자는  $D_i$  값도 1.9이다. 이는 IL의 민감도 계수가 LS와 WLS에 비하여 매우 작고, TP, F1, F2, ALPG의 민감도 계수가 작기 때문이다. 1985년 9월 18일 호우사상에서 LS, WLS 추정자는 0.5보다 크고 0.6 이하의 값을 가지나,  $D_i$  값이 0.1 정도에 불과하다. 1987년 7월 21일과 1993년 8월 7일 호우사상은 0.9 이상의 값을 가지며,  $D_i$  값도 매우 큰 값을 보여 주고 있다. 이는 1987년 7월 21일 호우사상은 5개 매개변수의 민감도가 전부 큰 편이나, 특히 매개변수 F2의 민감도 계수가 다른 호우사상에 비하여 상당히 크기 때문이라고 판단되며, 이중 침투를 가진 호우사상에서 첫 번째 침투는 예측치가 실추치보다 크고 침투부분이 상당히 급격하게 변하기 때문이라고 사료된다. 1993년 8월 7일 호우사상은 TP와 F1의 민감도 계수가 다른 호우사상에 비하여 상당히 크기 때문이라고 판단된다. 결론적으로,  $h_i$  와  $D_i$  값이 이상치를 보이는 경우는 민감도 계수의 값이 상대적으로 크거나 작은 경우에 발생한다.

### 2.2.3 매개변수 추정 결과분석

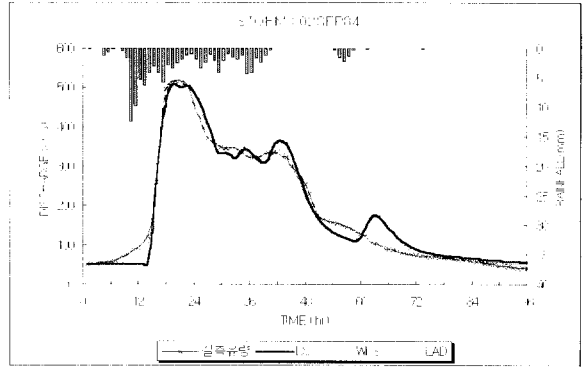
18개 호우사상에 대하여 보정을 실시하여 추정된 매개변수는 표 6과 같다.  $h_i$  와  $D_i$  로 분석한 결과 잔

표 4. 보정 및 적합성 분석 결과

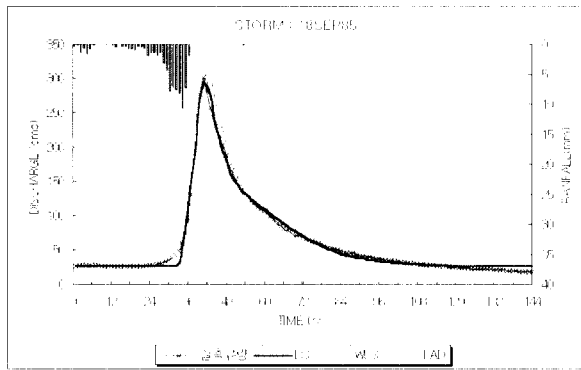
Date	Rainfall (mm)	Q <sub>B</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Measured			CASE	Calculated			Percent Error(%)			CME
			Q <sub>P</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>P</sub> (hr)	Volume (mm)		Q <sub>P</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>P</sub> (hr)	Volume (mm)	Q <sub>P</sub>	T <sub>P</sub>	Volume	
19JUL83	68.53	7.9	195.3	32	33.59	LS	192.8	33	33.35	1.30	3.13	0.70	1.00
						WLS	194.2	34	34.92	0.58	6.25	3.96	0.98
						LAD	195.1	34	34.07	0.12	6.25	1.44	0.99
09AUG83	69.01	3.0	86.0	37	16.75	LS	60.7	39	16.78	29.43	5.41	0.19	0.87
						WLS	63.9	40	17.60	25.71	8.11	5.08	0.83
						LAD	47.8	41	14.99	44.46	10.81	10.51	0.80
28AUG83	38.63	11.0	63.7	40	20.38	LS	54.8	40	20.55	13.93	0.0	0.85	0.98
						WLS	55.6	40	20.42	12.67	0.0	0.22	0.98
						LAD	53.5	40	20.16	16.03	0.0	1.08	0.97
12JUL84	36.17	16.0	73.0	30	24.49	LS	72.9	33	23.47	-0.19	10.00	4.14	0.88
						WLS	72.7	33	23.49	0.46	10.00	4.09	0.88
						LAD	68.3	33	22.60	6.42	10.00	7.71	0.87
02SEP84	113.16	51.0	517.0	21	134.06	LS	507.9	20	136.13	1.77	4.76	1.54	0.97
						WLS	514.7	20	136.86	0.44	-4.76	2.09	0.97
						LAD	469.8	19	130.83	9.14	9.52	2.41	0.98
12JUL85	72.29	26.1	216.9	22	42.97	LS	211.3	24	39.81	-2.58	9.09	7.35	0.93
						WLS	213.5	24	40.56	1.56	9.09	5.61	0.92
						LAD	182.1	25	39.72	16.05	13.64	7.57	0.90
10AUG85	68.62	2.8	141.8	29	26.61	LS	139.2	29	25.61	1.86	0.0	3.78	0.99
						WLS	137.2	29	27.01	3.22	0.0	1.51	0.98
						LAD	141.2	29	26.09	-0.41	0.0	1.95	0.99
18SEP85	77.01	26.1	301.4	41	67.41	LS	291.5	41	67.54	3.28	0.0	0.19	0.99
						WLS	293.9	41	67.93	2.50	0.0	0.76	0.99
						LAD	306.4	42	69.58	1.66	2.44	3.21	0.98
13AUG86	41.04	13.5	120.3	24	25.05	LS	112.2	25	25.14	6.77	4.17	0.35	0.99
						WLS	116.0	25	24.93	3.58	4.17	0.46	0.97
						LAD	113.2	26	24.88	-5.91	8.33	0.65	0.96
07JUN87	80.06	13.5	263.4	27	57.86	LS	264.1	27	56.26	0.27	0.0	2.77	1.00
						WLS	266.0	27	59.03	0.97	0.0	2.02	0.97
						LAD	264.5	27	56.95	0.43	0.0	1.58	1.00
15JUL87	90.45	7.9	228.1	35	46.98	LS	213.3	34	46.52	6.51	2.86	0.98	0.99
						WLS	217.3	34	47.77	4.72	2.86	1.67	0.98
						LAD	222.9	35	48.46	2.27	0.0	3.14	0.97
21JUL87	224.55	9.4	939.3	57	184.59	LS	864.0	58	175.44	8.01	1.75	-4.96	0.98
						WLS	869.8	58	172.66	7.40	1.75	6.46	0.98
						LAD	822.6	58	177.76	12.43	1.75	3.70	0.97
16JUL91	80.91	22.5	275.8	21	44.94	LS	268.7	22	43.23	2.57	4.76	3.80	0.91
						WLS	273.6	22	43.69	0.79	4.76	-2.79	0.90
						LAD	215.5	23	41.58	21.85	9.52	7.47	0.86
20JUL91	78.02	23.4	233.8	19	47.28	LS	207.6	22	45.37	11.20	15.79	4.05	0.87
						WLS	216.3	22	46.39	7.49	15.79	1.88	0.87
						LAD	184.8	23	43.97	20.97	21.05	-7.00	0.85
24JUL91	71.75	30.0	144.0	27	44.23	LS	127.1	28	44.34	11.73	3.70	0.26	0.92
						WLS	127.6	28	44.71	11.36	3.70	1.08	0.92
						LAD	137.1	27	40.26	4.81	0.0	8.97	0.77
19JUL93	145.74	2.0	200.0	46	37.94	LS	195.1	46	36.74	2.46	0.0	3.18	0.98
						WLS	201.7	45	37.07	0.87	2.17	2.30	0.98
						LAD	196.1	46	36.74	1.93	0.0	3.17	0.98
07AUG93	245.36	7.0	569.0	49	114.26	LS	515.1	50	106.14	9.46	2.04	7.11	0.92
						WLS	533.8	50	111.63	6.18	2.04	2.31	0.92
						LAD	554.6	50	112.19	2.53	2.04	1.81	0.92
25AUG93	71.50	11.0	124.0	47	41.70	LS	116.2	49	41.99	-5.10	2.13	0.61	0.98
						WLS	118.2	48	41.69	4.67	2.13	0.04	0.98
						LAD	114.7	48	41.27	-7.47	2.13	-1.04	0.98



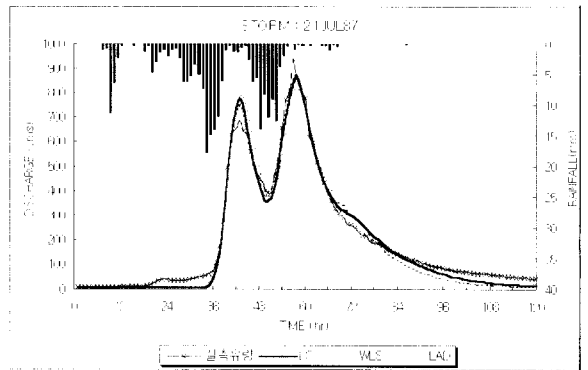
(a)



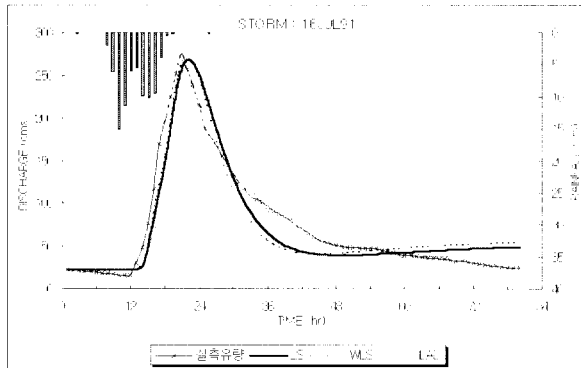
(b)



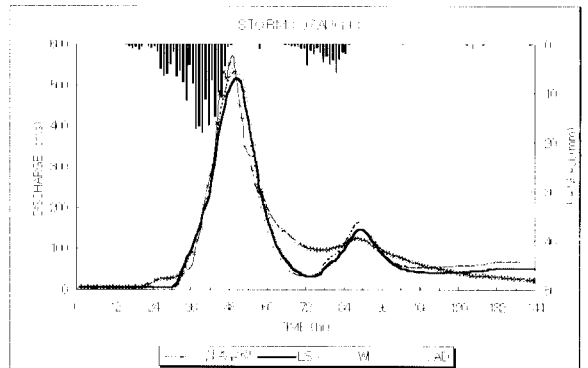
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 2. 목적함수에 따른 수문곡선 비교

차에 대한 영향성이 크고 매개변수 추정치가 매우 비현실적인 추정치에 대하여 매개변수의 추정결과를 분석하여 보면 다음과 같다. 1984년 9월 2일 호우사상에서는 침투유량 추정시 LAD로 구한 매개변수에서 침

투유량 추정시 매개변수 IL이 다른 추정치에 비해 9~13% 정도 값을 가지고 있다. 1987년 7월 21일 호우사상은 이중침투이며, TP값이 아주 작고 F2 값도 1에 가까우며, IL 값이 매우 크기 때문이다. 1993년 8월 7

표 5. 매개변수 오차 10%일 때 민감도,  $h_i$ ,  $D_i$

Date	Case	Sensitivity					$h_i$	$D_i$
		TP	F1	F2	IL	ALPG		
19JUL83	LS	11.75	15.30	2.20	7.62	4.81	0.327	0.0015
	WLS	13.75	16.13	1.59	7.08	3.62	0.289	0.0004
	LAD	12.21	15.27	2.28	6.41	4.89	0.253	0.0
09AUG83	LS	6.00	5.61	0.102	5.65	0.256	0.095	0.0246
	WLS	6.58	6.05	0.023	4.81	0.061	0.060	0.0159
	LAD	4.79	4.40	0.054	4.14	0.138	0.034	0.0075
28AUG83	LS	4.33	4.31	0.046	0.505	0.117	0.014	0.0004
	WLS	4.43	4.42	0.026	0.479	0.065	0.017	0.0006
	LAD	4.23	4.18	0.044	0.521	0.111	0.017	0.0003
12JUL84	LS	6.03	5.62	0.045	1.80	0.116	0.022	0.0
	WLS	6.01	5.60	0.046	1.79	0.119	0.019	0.0
	LAD	5.55	5.19	0.030	1.66	0.077	0.022	0.0001
02SEP84	LS	31.38	41.18	1.43	5.12	3.20	0.355	0.0236
	WLS	33.67	41.75	1.46	5.00	3.26	0.483	0.0045
	LAD	21.96	33.54	4.04	0.167	8.13	0.666	1.90
12JUL85	LS	17.43	18.52	0.0	2.23	0.0	0.207	0.0034
	WLS	18.14	18.73	0.007	2.57	0.019	0.264	0.0027
	LAD	16.24	15.60	0.0	3.33	0.0	0.231	0.0689
10AUG85	LS	13.53	12.41	0.770	11.69	1.78	0.292	0.0013
	WLS	15.12	13.09	0.187	12.31	0.462	0.390	0.0106
	LAD	13.72	12.76	0.645	13.04	1.51	0.330	0.0
18SEP85	LS	18.51	22.62	2.70	6.19	5.92	0.510	0.0684
	WLS	19.47	23.04	2.54	6.57	5.60	0.598	0.1011
	LAD	19.86	24.34	2.21	7.45	4.88	0.240	0.0015
13AUG86	LS	9.80	9.45	0.281	0.0	0.674	0.115	0.0032
	WLS	10.34	9.87	0.202	5.32	0.503	0.054	0.0005
	LAD	10.54	9.52	0.221	5.80	-0.545	0.066	0.0006
07JUN87	LS	21.64	23.09	0.955	15.14	2.25	0.461	0.0003
	WLS	23.95	24.64	0.257	12.98	0.642	0.357	0.0027
	LAD	21.74	23.45	0.777	15.61	1.85	0.417	0.0002
15JUL87	LS	12.40	17.57	1.54	5.91	3.10	0.109	0.0100
	WLS	14.89	19.44	0.695	6.02	1.56	0.071	0.0046
	LAD	16.98	20.50	0.392	6.18	0.904	0.094	0.0004
21JUL87	LS	21.83	33.56	24.78	10.02	24.63	0.999	$\infty$
	WLS	14.12	28.37	31.43	10.43	24.31	0.999	$\infty$
	LAD	33.53	41.84	14.51	7.02	19.25	0.999	$\infty$
16JUL91	LS	22.70	24.50	0.076	6.30	0.198	0.262	0.0080
	WLS	19.87	24.95	0.107	5.77	0.276	0.140	0.0004
	LAD	19.51	19.21	0.060	4.18	0.157	0.303	0.3235
20JUL91	LS	15.05	18.38	0.026	0.0	0.068	0.172	0.0571
	WLS	14.38	19.22	0.042	0.0	0.109	0.193	0.0438
	LAD	13.74	16.10	0.023	0.0	0.059	0.207	0.1132
24JUL91	LS	5.53	9.71	0.0	0.402	0.0	0.020	0.0020
	WLS	5.63	9.76	0.0	0.394	0.0	0.021	0.0029
	LAD	8.60	10.67	0.023	1.10	0.058	0.047	0.0004
12JUL93	LS	15.34	19.17	0.102	4.79	0.262	0.066	0.0009
	WLS	14.89	19.82	0.112	5.41	0.289	0.081	0.0001
	LAD	15.33	19.31	0.078	4.14	0.202	0.088	0.0003
07AUG93	LS	20.74	50.62	0.128	0.400	0.329	0.925	158.16
	WLS	17.40	52.36	0.212	0.528	0.539	0.945	189.37
	LAD	23.73	54.53	0.143	0.781	0.364	0.952	12.00
25AUG93	LS	6.57	10.51	0.085	1.15	0.215	0.018	0.0002
	WLS	6.41	10.57	0.083	0.800	0.209	0.018	0.0003
	LAD	6.68	10.28	0.051	0.580	0.130	0.024	0.0003

표 6. 매개변수의 추정

Date	CASE	TP (hr)	I F1	F2	IL (mm)	ALPG	LAG (hr)
19JUL83	LS	3.85	0.690	0.570	24.0	0.112	4
	WLS	4.40	0.637	0.707	23.5	0.082	
	LAD	4.35	0.662	0.533	21.3	0.102	
09AUG83	LS	9.95	0.639	0.669	34.4	0.022	4
	WLS	11.88	0.611	0.611	30.3	0.012	
	LAD	12.70	0.675	0.742	32.9	0.015	
28AUG83	LS	12.60	0.645	0.890	5.8	0.012	4
	WLS	12.65	0.637	0.897	5.5	0.010	
	LAD	12.65	0.652	0.858	6.1	0.012	
12JUL84	LS	8.40	0.650	0.845	8.9	0.019	4
	WLS	8.40	0.651	0.860	8.9	0.019	
	LAD	8.90	0.660	0.820	8.8	0.016	
02SEP84	LS	2.80	0.317	0.793	5.6	0.135	4
	WLS	2.75	0.315	0.810	5.5	0.135	
	LAD	2.60	0.485	0.673	0.5	0.197	
12JUL85	LS	5.55	0.670	0.733	9.0	0.0	4
	WLS	5.30	0.675	0.735	10.0	0.010	
	LAD	6.65	0.647	0.730	13.3	0.0	
10AUG85	LS	4.90	0.630	0.433	30.7	0.087	4
	WLS	6.00	0.535	0.465	30.8	0.052	
	LAD	5.00	0.597	0.475	32.2	0.082	
18SEP85	LS	3.50	0.687	0.533	19.3	0.120	4
	WLS	3.55	0.677	0.543	19.7	0.117	
	LAD	4.25	0.597	0.543	20.3	0.105	
13AUG86	LS	7.05	0.670	0.290	0.0	0.033	4
	WLS	6.35	0.530	0.887	14.1	0.043	
	LAD	6.85	0.488	0.873	15.1	0.043	
07JUN87	LS	4.55	0.485	0.745	29.4	0.077	4
	WLS	5.35	0.422	0.863	26.5	0.045	
	LAD	4.65	0.469	0.784	29.7	0.071	
15JUL87	LS	5.90	0.520	0.513	33.5	0.073	4
	WLS	6.30	0.462	0.688	34.1	0.048	
	LAD	7.15	0.390	0.665	32.7	0.038	
21JUL87	LS	2.70	0.477	0.905	56.9	0.137	4
	WLS	2.45	0.545	0.973	57.8	0.162	
	LAD	3.35	0.368	0.987	53.2	0.105	
16JUL91	LS	4.50	0.622	0.808	19.7	0.025	4
	WLS	4.10	0.645	0.830	19.6	0.027	
	LAD	6.00	0.637	0.753	15.5	0.020	
20JUL91	LS	5.25	0.627	0.750	0.0	0.015	4
	WLS	4.95	0.627	0.770	0.0	0.017	
	LAD	6.00	0.637	0.850	0.0	0.012	
24JUL91	LS	6.55	0.612	0.570	3.7	0.0	4
	WLS	6.65	0.607	0.565	3.6	0.0	
	LAD	4.50	0.625	0.665	15.7	0.015	
19JUL93	LS	6.15	0.722	0.682	33.1	0.017	4
	WLS	5.65	0.727	0.657	34.5	0.020	
	LAD	6.30	0.725	0.727	28.7	0.015	
07AUG93	LS	4.45	0.635	0.632	9.3	0.015	4
	WLS	3.95	0.658	0.623	14.4	0.019	
	LAD	4.50	0.625	0.525	13.6	0.017	
25AUG93	LS	11.30	0.532	0.890	9.2	0.012	4
	WLS	11.05	0.540	0.840	8.6	0.012	
	LAD	11.80	0.540	0.897	7.3	0.010	

일 호우사상은 이중침두를 가지며, 총강우량에 비하여 IL 값이 작기 때문이다. 결론적으로 매개변수 추정치의 부적절한 추정은 IL 값의 추정결과에 주로 의존하고, 다중침두를 가진 사상에서 주로 발생한다.

### 2.3 매개변수의 민감도 분석 결과

예측치를 결정하는 데에 있어서 중요한 것은 매개변수를 식별하는 것이다. 매개변수의 오차가 예측치의 오차에 얼마나 전파되는지를 알기 위하여 논문(1)의 식(24)에서  $\hat{\Delta\beta} = b - \beta$ 를 주어진 매개변수 값의 5, 10, 20, 30, 40, 50%와 -5, -10, -20, -30, 40, -50%로 놓아서 구한  $\hat{\gamma}^2$ 은  $\gamma^2$ 의 추정치이며,  $\hat{\Delta\beta} = 10\%$ 에 대한  $\hat{\gamma}^2$ 의 값은 표 7과 같다.  $\sigma^2$ 은 오차가 없는 매개변수에 의한 평균자승 예측오차이며,  $s^2$ 은 식(1)과 같다.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [Y_i - P_i(I)]^2 \quad (1)$$

표 7. 매개변수 오차(10%)에 따른 평균자승 예측 오차와 오차 전파

Calibration Procedure	Parameter	$\hat{\gamma}^2$	$\hat{\gamma}^2/s^2(\%)$
LS	TP	45.82	7.577
	F1	4.58	0.757
	F2	1.65	0.273
	IL	153.22	25.336
	ALPG	-3.38	-0.560
WLS	TP	41.17	9.921
	F1	3.53	0.850
	F2	2.67	0.642
	IL	142.09	34.241
	ALPG	-2.53	-0.610
LAD	TP	60.34	4.317
	F1	6.86	0.491
	F2	0.54804	0.039
	IL	127.47	9.120
	ALPG	-3.97	-0.284

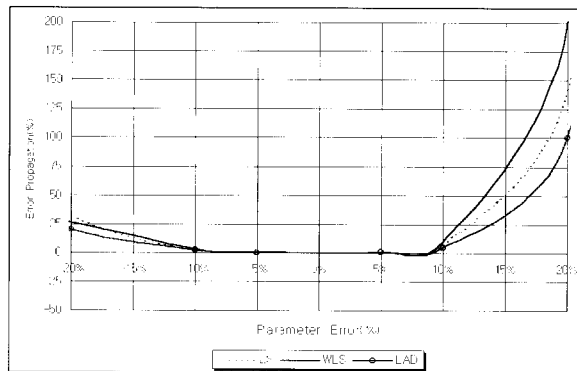


그림 3. 매개변수 TP의 오차 전파

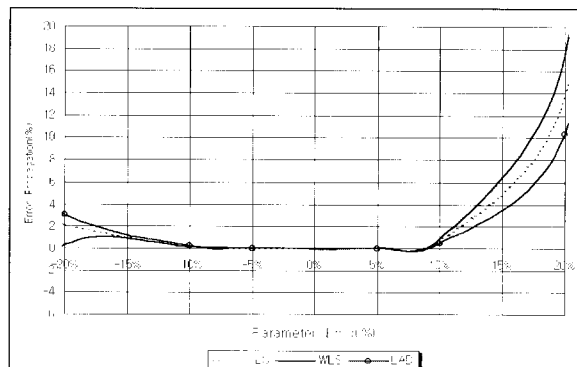


그림 4. 매개변수 F1의 오차 전파



여기서  $n$ 은 호우사상의 수이며,  $I_n$ 는 모형의 입력변수를 나타낸다.

$\Delta\beta=10\%$ 에 대한  $\hat{\sigma}^2/s^2$  값을 나타내는 표 7에서  $\hat{\sigma}^2/s^2$ 은 넓은 의미에서 매개변수 오차에 따른 모형

출력의 민감도를 나타낸다. 예를 들면, LS의 첨두유량 추정시 매개변수 TP의 10% 오차는 각각 7.58% 만큼 예측치의 평균자승오차를 증가시킨다. 또한  $\Delta\beta$ 값의 변화에 따른 매개변수별  $\hat{\sigma}^2/s^2$  값의 변화 양상은

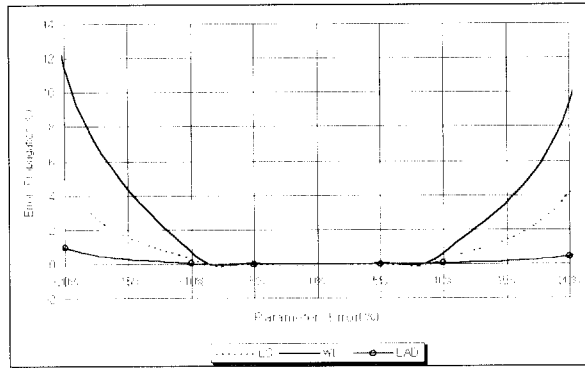


그림 5. 매개변수 F2의 오차 전파

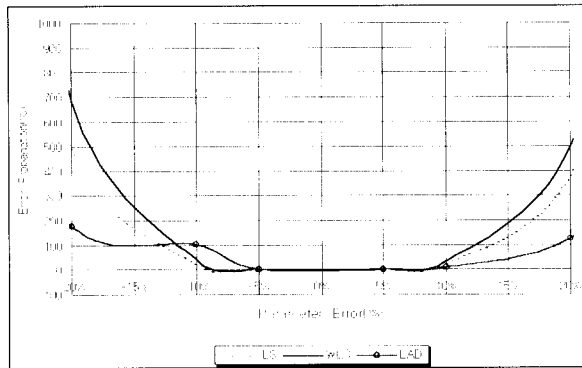


그림 6. 매개변수 I2의 오차 전파

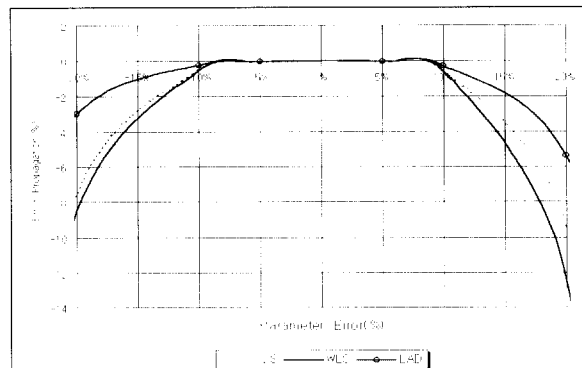


그림 7. 매개변수 ALPG의 오차 전파

그림 3~그림 7과 같다.

표 7에서 구한  $\hat{\gamma}^2$  과  $\hat{\gamma}^2/s^2$  이 작으면 매개변수가 민감하지 않다는 것이다. 침투유량의 경우에는 매개변수 IL, TP 및 F1이 민감한 매개변수이다. 이는 이상호(1993)의 연구에서 계산 최대유량의 민감도는 TP, F1, IL 등에 상대적으로 민감하다는 결과와 잘 일치하나, 본 연구에서는 각 매개변수의 민감한 정도를 정량화하여 나타낼 수 있다.

### 3. 결 론

(1) LRCS 강우-유출 모형의 국내 하천에 적용성을 확인하였다.

(2) 목적함수에 따른 모형의 적합성 분석 결과 LAD 추정자가 LS와 WLS에 비하여 좋지 못한 결과를 얻었다.

(3) 매개변수 추정치의 영향성 분석을 위한 지표로서 “hat” 행렬의 대각 요소( $h_i$ )와 영향성 척도( $D_i$ )

의 유용성을 확인하였다.

(4) 매개변수 IL의 효율적인 추정이 매개변수 추정시 가장 중요함을 알 수 있었다.

(5) 매개변수의 오차에 따른 오차 전파의 정도는 IL, TP, F1의 순서이며, 이는 모형의 출력이 침투유량일 경우에 민감도의 정도를 나타내 주고 있다.

(6) 민감도 계수와  $h_i$ 의 대각 요소와  $D_i$  값의 분석을 통한 모형의 보정 및 민감도 분석시의 관련성을 조사하였다.

### 참 고 문 헌

건설교통부 (1982-1983). 수문조사연보.

건설교통부 (1983). 홍수량 측정 조사보고서.

오규창 (1998). 매개변수 추정을 통한 강우-유출 모형의 불확실성 분석. 박사학위논문, 서울대학교.

(논문번호:99-061/접수:1999.08.18/심사완료:1999.10.05)