

하천만곡부의 피해인자 특성 조사 분석 - 강릉시 남대천을 중심으로 -

Analysis of the characteristics of damaging factors in curved channel - Focus on the Namdae stream in GangNeung City -

심 기 오* / 이 준 호** / 허 경 한*** / 김 진 영****

Shim, kee-oh / Lee, Joon-ho / Huh, Kyung-han / Kim, jin-young

Abstract

The tremendous flood damage caused by Typhoon Rusa(2002) was occurred at GangNeung City in GangWon Province. Almost of the city region was inundated and most of the stream channel facilities were damaged by flash flood with heavy rainfalls. We have investigated seriously damaged parts of stream bank and tried to analyze the causes of damages focused on flow characteristics in curved channel. We analyzed the damage aspects of curved channel by examining geomorphological survey and hydrographical characteristics. Strong correlation was shown according to the regression analysis between length of stream and meander wave length, and meander belt and length of stream. Furthermore, enveloped curve was presented between bottom slope of channel and meander belt, and meander ratio and channel width. As a result, special consideration about stream flow characteristics are needed for engineers who design stream banks and channels.

key words : curved channel, Namdae stream, meander wave length, sinuosity

요 지

본 연구에서는 만곡부 피해지점을 조사함에 있어 피해가 극심하게 발생한 유역을 선택하여, 만곡부의 피해 관련 인자들로 추정되는 인자들에 대하여 2002년 강릉시 남대천 유역을 대상으로 조사하였다. 선정 조사된 하천은 9개이며 채택된 피해지점은 23개 지점이다.

제시된 회귀직선식에서는 사행과장과 하천연장, 사행대와 하천연장의 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 분석된 특성인자들 중에 하상경사와 사행대, 곡률비와 하폭의 관계를 포락곡선으로 제시하고자 하였다. 이것은 만곡부의 수해복구설계 및 하천 정비시 재해예방에 도움이 될 것이다.

핵심용어 : 하천 만곡부, 남대천, 사행과장, 만곡도

1. 서 론

21세기에 들어서면서 지구촌 곳곳에서 기상이변 같은 기후의 변화로 인하여 자연재해로 인한 귀중한 인명손실과 막대한 재산피해는 앞으로 그 규모를 예측하기 어려울 정도로 다양화되면서 대규모화되고 있는 실

정이다. 여름철 수해로 인한 대부분의 피해를 살펴보면 강우로 인해 하천으로 물이 유하하는 과정에서 대부분의 피해가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 유하하는 유수에 의해 하천구역에 설치되어 있는 시설물, 즉 제방, 교량, 도로, 호안 등에 유수력이 작용하거나 또는 수위증가로 인한 범람과 유실로 많은 면적이 침수되어

* 정회원, 국립방재연구소 토목연구관 (E-mail: shimko@nema.go.kr)

** 정회원, 경기대학교 토목환경공학부 박사과정

*** 정회원, 초당대학교 건설정보공학과 겸임교수

**** 정회원, 행정자치부 지역균형발전과장

피해가 발생하고 있다.

하천구역에서의 피해는 제내지와 제외지로 구분할 수 있으며 제내지의 피해는 주로 집중호우로 인한 홍수량의 증가로 내수배제불량에 의한 침수피해가 대부분을 차지하고 있으며, 제외지의 피해는 주로 통수능 부족과 유수력에 의한 수충부분에서의 피해 및 수위증가로 인한 월류 피해가 대부분을 차지하게 된다.

만곡하천 구간에 장애물이 존재할 경우에 침식과 퇴적 구간의 파악, 횡방향 하상경사, 횡방향 하상재료 입도분포의 변화 등 하상변동특성을 분석하여 취수, 관개, 준설, 주운, 하천수질, 홍수소통, 홍수터 이용, 친수 등의 하천설계 및 시공에 필요한 기본자료를 제공해야 할 필요성은 매우 크다.

자연적으로 형성된 만곡하도는 하도주변의 지형과 토지이용 등의 제약조건으로 자연히 만곡구간을 그대로 두고 하도설계를 계획하는 경우가 많게 된다. 또한 경제적인 측면만을 고려하여 하도를 직선화하는 것은 상류부의 위험을 하류부로 전가시키는 결과를 초래하므로 바람직하지 않을 뿐만아니라 직선화된 수로에서는 하천의 생태계가 제대로 이루어지지 않으므로 하천은 자연하천으로 만곡구간을 갖는 것이 바람직하다.

자연하천에서는 하천만곡부의 형태가 단순하지 않으며 만곡부의 곡률 자체도 일정하지 않은 서로 상이한 곡률을 가지고 있으므로, 만곡부의 형태가 조금만 변화해도 하천의 흐름은 매우 민감하게 반응을 하므로 하천설계자들이 하천을 정비하고자 할 때 하도의 흐름을 예측하는데 큰 어려움이 있다.

송(9)은 유로단면변동을 도입하여 하천의 유로사행으로 인한 유수력 집중부분과 침식구간의 변동상황을 조사하여 유로사행을 수리학적 및 형태학적으로 구명한 연구도 있었으며, 정(13)은 낙동강 수계에 대하여 사행과장과 사행대의 상관식을 지수함수 형태로 제시하였으며, 하천차수와 사행대 및 사행과장과 관계도 지수함수식 형태로 나타내었다. 또한 Morris(14)는 사행하천에서의 사행과장과 하폭 및 유량과의 관계, 사행대와 하폭 및 유량과의 관계, 곡률반경과 하폭 및 유량과의 관계를 제시하였다.

본 연구에서는 만곡부의 특성인자를 조사함에 있어 집중호우 또는 태풍 등에 의해 피해가 극심하게 발생한 유역을 선택하여, 유역내의 지방하천과 소하천들에 대한 만곡부의 피해 관련 인자들로 추정되는 10가지 인자들 즉, 사행과장, 사행대, 곡률반경, 하폭, 유로길이, 사행비, 만곡도, 하상경사, 유량 및 곡률비 등에 대하여 만곡하천 피해지점을 대상으로 조사하였다.

만곡부 피해 발생 관련 자료의 수집을 위해 행정자

치부에서 개발·운영하고 있는 국가안전관리정보시스템(NDMS, National Disaster Management System)를 활용하여 재해로 인한 피해지역별 분석을 통해 광역시·도 및 자치단체에 있는 대상유역을 선정하고 대상유역의 하천에 대한 「수해복구 설계보고서」와 「실시 설계보고서」를 참고하여 하천만곡부의 피해가 발생한 현장을 조사하고 관련 인자들의 자료를 적출하여 분석하고자 하였다.

2. 기본이론

하천에서의 만곡성향은 자연하천에서의 대표적인 기하학적 흐름특성 중 하나이며 이러한 성향은 하도만곡부에서 각종 수공학적 문제들을 발생시키게 된다. 따라서 하상의 안정하도, 홍수소통, 취수, 관개 용수로, 주운 수로의 계획수립 등과 관련하여 만곡부의 위치, 단면의 하폭, 곡률반경 등의 적절한 선정은 하도의 유지관리에 있어 매우 신중히 고려되어야 한다.

하폭이 넓고 완만한 사행을 가진 하천의 경우 물입자의 연직방향의 운동성분은 충분히 작다고 가정할 수 있다. 따라서 수평방향의 운동성분이 전체흐름의 특성을 지배하는 경우로 볼 수 있으므로, 2차원 부정류의 흐름으로 간주하여 해석한 결과는 비교적 실제 현상에 접근된 결과를 보여줄 것으로 예측된다.

유로 만곡부의 수리학적 거동은 이방성 난류로부터 발생한 2차흐름으로 인하여 나선류가 형성되며, 3차원 동수역학적 해석으로만 해결이 가능한 매우 어려운 분야이다. 유로만곡부의 유동 결과인 횡방향 하상경사, 사행과장, 사행하폭 등 하도의 사행 특성을 나타내는 기하학적 인자들을 활용하여 만곡부를 해석하는 연구가 있었다.(8, 9, 10, 12, 13)

하천의 사행유로 특성을 분석하기 위하여 많은 연구가 거듭되어 오면서 지금까지 사용되어온 유로만곡부에 대한 기하학적 표현방법 중 본 연구에 사용된 것은 다음과 같다.(14)

- 1) 사행과장 (meander wave length) M_L
- 2) 사행대 (meander belt) M_b
- 3) 곡률반경 (radius of curvature) R
- 4) 곡률비 (ratio of curvature) Cr
- 5) 만곡도 (sinuosity) S_n
- 6) 하폭 (width of channel) W
- 7) 사행비 (meander of ratio) M_r
- 8) 유량 (design flood) Q
- 9) 하천연장 (length of meander) L
- 10) 하상경사 (bed slope) S

여기서, 만곡도 = $\frac{\text{유로 중심부의 길이}}{\text{사행과장}}$,

$$S_n = \frac{\text{length of thalweg}}{\text{meander wave length}} \quad (1)$$

$$\text{사행비} = \frac{\text{사행대}}{\text{사행과장}},$$

$$M_r = \frac{\text{meander belt}}{\text{meander wave length}} \quad (2)$$

$$\text{곡률비} = \frac{\text{곡률반경}}{\text{하폭}},$$

$$C_r = \frac{\text{radius of curvature}}{\text{channel width}} \quad (3)$$

을 의미한다.

일반적으로 만곡하천에서 사용되는 기하학적 표현들을 그림 1에 제시하였다.

일반적으로 하천에서의 만곡도는 1.3~4.0의 값을 나타낸다는 연구결과가 있으며, 만곡도의 값이 작은 경우는 사행비(Mr)가 작은 경우로써 주로 하구부에서 측정된다.

일반적으로 사행특성인자인 사행과장과 유량과의 관계에서 식(4)와 같은 관계가 있는 것으로 알려져 있다.(10)

$$M_L = C_L \times (Q_{max})^{1/2} \quad (4)$$

여기서, C_L 은 상수로써 18~42 이다. Q_{max} 는 설계빈도 100년에 해당하는 홍수량이다.

3. 대상지역의 선정과 특성인자의 분석

2002년도 태풍 「루사」로 인해 피해가 발생한 실제 피해하천을 대상으로한 연구이며, 대부분의 하천수해에 큰 영향을 끼치고 있는 하천만곡부(수충부)의 유로

특성을 기하학적 및 수리·수문학적인 측면에서 특성인자들의 관계를 분석하고자 하였다. 분석에 사용된 피해지점의 만곡부 특성인자들로써 사행과장, 사행대, 곡률반경, 하폭, 유로길이, 사행비, 만곡도, 하상경사, 유량 및 곡률비 등 10가지 인자들을 사용하였다.

자연 하천의 선형은 직선보다는 곡선이 보편적이다. 따라서 만곡(meander)은 자연 하천의 보편적 현상이며, 인공 수로의 경우 자연 하천보다는 완만하지만 만곡이 불가피한 경우가 많다.

본 장에서는 소하천에서 발생하고 있는 대부분의 피해가 만곡구간에서 발생하고 있는 것에 착안하여 만곡부 하천의 수리·기하학적인 특성 및 흐름 특성을 파악하고 2002년도의 태풍 「루사」로 인해 발생한 특정 유역의 소하천 피해를 중심으로 파악해보고자 한다.

집중호우 및 태풍으로 인한 피해 피해중 하천과 관계되는 피해가 많은 부분을 차지하고 있으므로 하천에 대한 피해를 조사·분석하고자 하였다. 이러한 피해를 조사함에 있어 2002년 태풍 「루사(RUSA)」로 인해 막대한 피해가 발생하였던 강원도 강릉시를 대상지역으로 선정하고자 하였다. 2002년도에 태풍으로 가장 큰 피해를 입은 강원도지역의 자치단체별 피해순위를 보면 표 1과 같다.

표 1에서 알 수 있듯이 강원도에서는 강릉시가 가장 많은 피해가 발생한 것으로 기록되어 있다. 강원도 강릉시를 대상지역으로 선정하여 하천피해를 중점으로 조사·파악하고자 하였다. 강원도 강릉시를 관통하는 대표적인 하천으로 남대천이 있으며, 강릉시 지역의 읍면동 지역을 그림 2에 제시하였다. 제시된 강원도 지역에서 본 연구의 대상지역으로 선정된 남대천 유역의 상세도를 그림 3에 제시하였으며, 이 지역에 대하여 하천들을 조사·분석하고자 하였다.

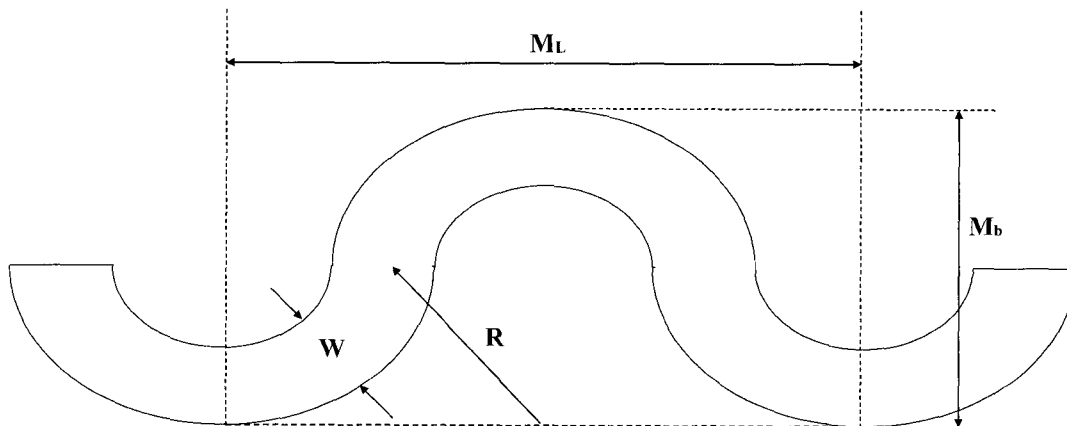


그림 1. 만곡부에 사용된 기하학적 표현

표 1. 2002년(루사) 강원도의 자치단체별 피해액 순위

순위	자치단체	피해액(백만원)	순위	자치단체	피해액(백만원)
1	강릉시	806,435	10	영월군	16,060
2	삼척시	477,680	11	인제군	12,489
3	양양군	427,372	12	홍천군	5,827
4	고성군	272,045	13	화천군	1,182
5	정선군	232,080	14	춘천시	715
6	동해시	115,237	15	철원군	346
7	속초시	99,534	16	양구군	326
8	태백시	35,374	17	원주시	192
9	평창군	27,552	18	횡성군	78



그림 2. 강릉시의 지역구분 및 남대천유역
(해칭된 부분이 강릉시 남대천 유역임)



그림 3. 강릉시 남대천 하천수계도

3.1 대상지역 자료의 분석

남대천 유역의 만곡부 피해를 예방하기 위하여 피해하천지점을 대상으로 수리·기하학적인 특성을 파악하고자 하였다. 이러한 기하학적 또는 수리·수문학적인 특성을 분석하여 하천 만곡부에 대한 특성을 제시하고자 하였다.

대상유역인 강릉 남대천(지방1급) 유역에는 많은 지류하천이 있으나 2002년 태풍 루사(RUSA)로 인해 피해가 발생한 하천에 대해서 조사를 하였다. 이들 조사된 하천들로부터 하천만곡부 지점에 피해가 발생한 지점만을 선택하여 피해관련 특성인자들을 조사·파악하였다.

조사과정에서 하천만곡부의 지점들은 한 하천에 여러군데 있었지만 피해가 발생한 지점이 없는 하천도 있었으며 반대로 피해지점이 많은 하천도 있었다. 대부분 피해가 발생하지 않은 하천들은 수해복구공사 완료 또는 하천정비가 끝난 하천인 것으로 판단되며, 피해가 발생한 하천들은 하천선형 불량 또는 설계홍수량 초과 등이 원인인 것으로 판단된다. 피해가 발생한 많은 하천들 중에서 하천만곡부에서 피해가 발생한 하천

은 9개 하천으로서 금광천, 어단천, 섬석천, 말미천, 구정천, 제비천, 어흘천, 삼왕천 및 개자리천 등 이었다.

만곡하천의 피해하천인 9개 하천에서 대하여 피해가 발생한 하천만곡부 23개소에 대하여 만곡부의 기하학적인 특성값인 사행과장, 사행대, 곡률반경, 하폭, 사행비, 하상경사, 만곡도, 곡률비, 하천연장 및 유량 등을 조사하였다. 조사된 이들 값을 표 2에 나타내었다.

3.2 특성자료의 분석

만곡하천의 피해지점 조사인자들에 대하여 각각 상관분석을 실시하여 하천의 지점들을 그림 4~7에 나타내었으며 회귀직선식을 표 3에 나타내어 상관계수를 중심으로 정리하였다. 또한 하천만곡부 인자들의 분석에서 피해하천을 대상으로 하였으므로 그림 8~9와 같이 인자들간의 관계를 포락곡선으로 나타내고자 하였으며, 그림에서 하천의 지점들이 위치해 있는 구역을 피해지역, 하천지점들이 없는 구역을 비피해지역으로 구분하여 나타내었다.

표 2. 하천별 만곡피해지점의 특성인자 값

번호	하천명	지점	사행과장 (m)	사행대 (m)	곡률반경 (m)	하폭 (m)	하천연장 (m)	사행비	만곡도	하상경사	곡률비
1	금광천	1	300	37.5	200	28	315	0.13	1.05	0.0252	7.14
2		2	275	27.5	150	19	285	0.10	1.04	0.0181	7.90
3		3	283	27.5	90	24	298	0.10	1.05	0.0164	3.75
4		4	288	57.5	163	18	350	0.19	1.17	0.0039	9.06
5		5	315	75	163	15	370	0.24	1.17	0.0012	10.87
6	어단천	1	310	122	120	19	420	0.39	1.35	0.0061	6.32
7		2	348	200	80	26	560	0.59	1.65	0.0055	3.08
8		3	290	44	200	30	324	0.15	1.12	0.0371	6.67
9		4	260	60	120	33	298	0.23	1.15	0.0303	3.64
10	섬석천	1	350	82.5	200	28	410	0.24	1.17	0.0050	7.14
11		2	538	312.5	288	75	935	0.58	1.74	0.0018	3.84
12	말미천	1	135	84	60	8	240	0.62	1.78	0.0133	7.50
13		2	75	38	35	6	126	0.51	1.68	0.0272	5.83
14		3	31	19	12	5	55	0.61	1.77	0.0103	2.40
15	구정천	1	125	35	63	11	140	0.28	1.12	0.0321	5.73
16	제비천	1	180	72	70	8	240	0.40	1.33	0.0340	8.75
17		2	200	80	90	12	260	0.40	1.30	0.0131	7.50
18		3	330	100	180	8	392	0.30	1.31	0.0106	22.50
19		4	40	26	14	10	66	0.65	1.65	0.0191	1.40
20		5	260	120	120	10	357	0.46	1.37	0.0124	120
21	어흘천	1	160	75	90	50	181	0.47	1.13	0.0350	1.80
22	삼왕천	1	114	45	67	10	142	0.40	1.25	0.0150	6.70
23	개자리천	1	78	38	38	6.2	128	0.49	1.64	0.0520	6.20

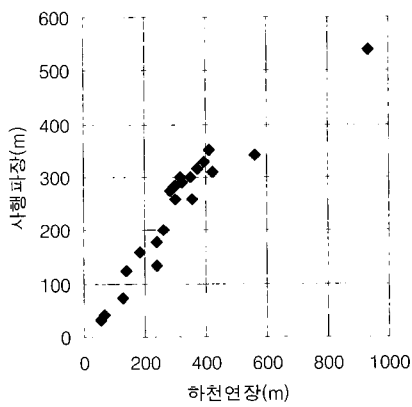


그림 4. 하천연장과 사행과장

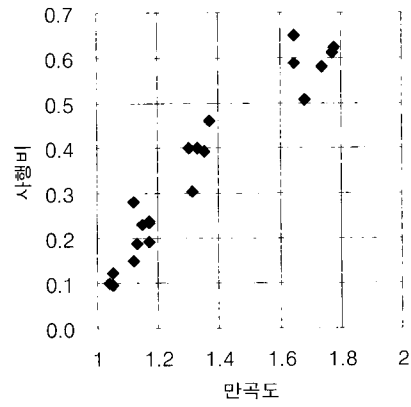


그림 5. 만곡도와 사행비

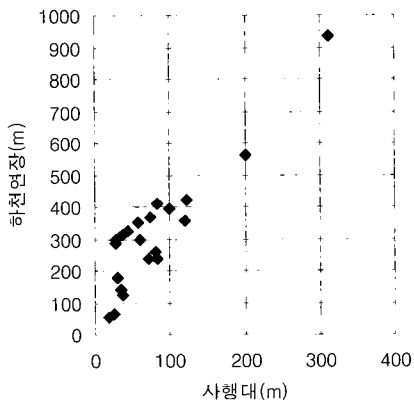


그림 6. 사행대와 하천연장

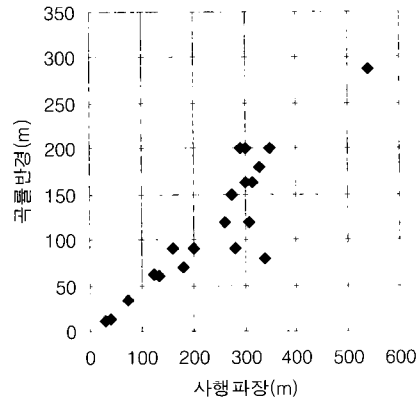


그림 7. 사행과장과 곡률반경

표 3. 만곡부 특성인자의 회귀분석

번호	특성인자		회귀직선식	상관계수
	X	Y		
1	사행과장	하천연장	$Y = 1.414 X - 28.263$	0.941
2	사행대	하천연장	$Y = 2.595 X + 93.679$	0.907
3	사행과장	곡률반경	$Y = 0.502 X - 4.149$	0.905
4	만곡도	사행비	$Y = 0.608 X - 0.443$	0.895
5	하폭	유량	$Y = 8.08 X - 32.86$	0.879
6	곡률반경	하천연장	$Y = 2.257 X + 51.454$	0.816
7	사행대	사행과장	$Y = 1.363 X + 118.777$	0.731

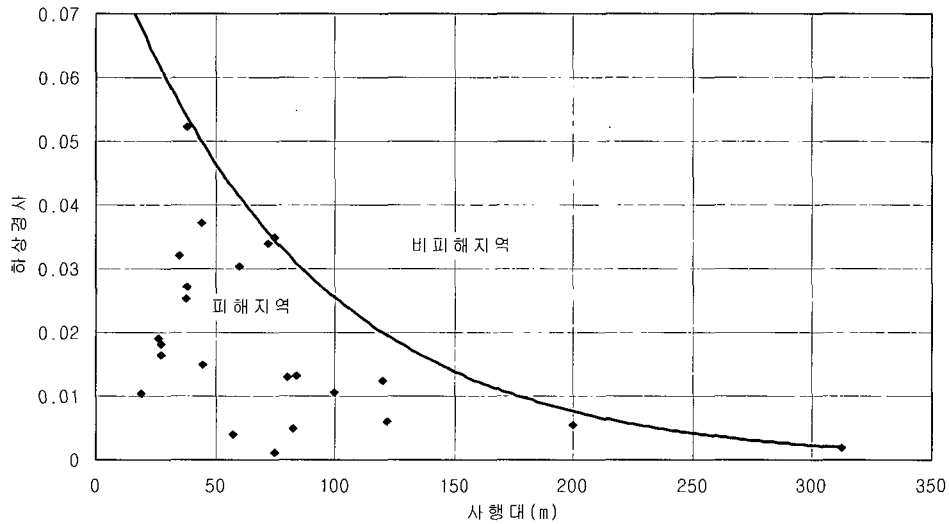


그림 8. 사행대와 하상경사간의 피해 포락곡선

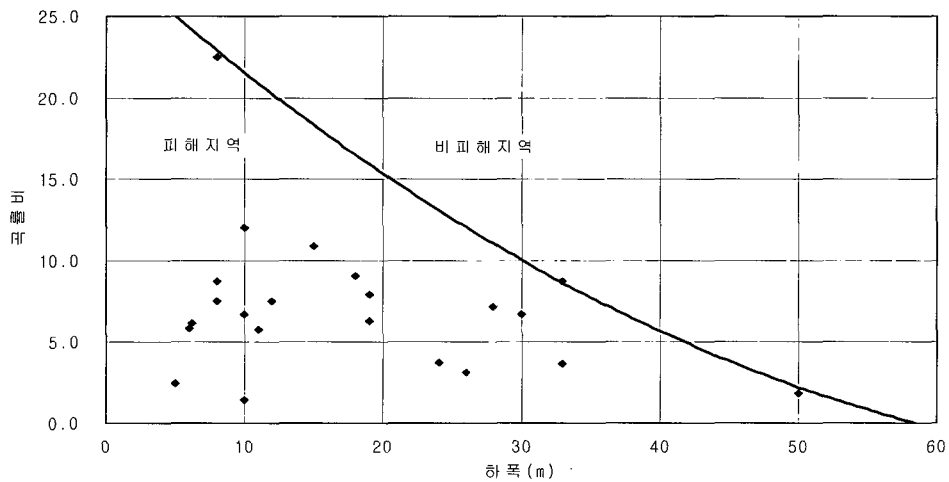


그림 9. 하폭과 곡률비간의 피해 포락곡선

4. 결 론

2002년도의 전국전인 규모의 8월 집중호우와 제주도를 거쳐 전남 고흥으로 상륙한 제15호 태풍 루사는 엄청난 인명피해와 막대한 재산피해를 발생시켰다. 특히 태풍 「루사」의 경우에는 집계된 피해액이 5조원이 넘

음으로써 기록역사상 최대의 피해를 기록하게 되었다.

이같은 호우 및 태풍에 의해 많은 피해가 발생하는 장소를 보면 하천의 만곡부에서 피해가 발생하고 있다. 피해방지를 위한 하천유로의 설계시 적정설계방안을 제시하기 위하여 2002년도에 태풍 「루사」로 인해 극심한 피해가 발생하였던 강릉시 남대천 유역의 하천을

대상으로 만곡부 피해지점에 대한 조사를 실시하였다. 수집된 자료를 분석함에 있어 9개 하천에서 만곡부의 피해지점을 발견하였으며 채택된 피해지점은 총 23개 지점이 선정되었다.

제시된 회귀직선식에서 특성인자간의 상관계수가 높은 4가지 특성인자는 사행파장과 하천연장의 상관계수가 0.941이고, 사행대와 하천연장의 상관계수가 0.907인 것으로 나타났다. 또한 분석된 특성인자들 중에 하상경사와 사행대, 곡률비와 하폭과의 관계를 피해가 발생한 지점들에 대하여 포락곡선으로 제시하고자 하였다. 만곡부피해지점 특성인자간의 분석제시로 인해 피해복구 설계 및 하천 정비시 포락곡선을 활용한 설계는 피해예방에 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 강릉시. 개자리천, 산복천, 섬석천, 성산지구, 왕산지구 수해복구공사 보고서, 2002.
2. 강릉시. 금광천, 남대천, 어단천 수해복구공사 실시설계 보고서, 2003.
3. 강릉시. 소하천정비종합계획 보고서, 2001.
4. 강릉시재해대책본부. 소하천 재해대장, 2002.
5. 강원도. 강릉 남대천 하천정비기본계획 보고서, 1992.
6. 국립방재연구소, 2002 태풍 루사 피해조사 보고서, 2002.
7. 국립방재연구소 연구보고서, 하천만곡부의 적정설계를 위한 유로특성 분석, NIDP 2003-8, 2003.
8. 류희정, 안태진. 만곡하천의 흐름특성에 관한 실험적 연구, 안성산업대학교 논문집 제30권, 제2호, pp. 133~142, 1998.
9. 송재우, 박영진, 이용환. 유로 만곡부의 특성과 단면형상, 대한토목학회논문집, 제14권, 제5호, pp. 1991~1197, 1994.
10. 송재우, 이원환, 하천사행의 계량형태학적 특성, 한국수문학회지, 제14권, 제1호, pp. 39-49, 1981.
11. 심기오, 이준호, 이철규, 하천만곡부의 피해지역 특성 분석, 2004년도 학국방재학회 학술발표대회 논문집, pp. 241-247, 2004.
12. 윤세의, 이종태, 만곡수로에서의 곡률반경 변화에 따른 흐름특성, 한국수문학회지, 제23권 제3호, pp. 435-444, 1990.
13. 정인주, 낙동강 수계의 사행에 관한 연구, 공학석사학위논문, 부경대학교 대학원, 1999.
14. Henry M. Morris, James M. Wiggert, "Applied Hydraulics in Engineering", second edition, John Wiley & Sons, pp. 499-503, 1972.
15. Shim, Kee-Oh, Lee, Joon-Ho, Lee, Jae-Joon., "Analysis of Damage Types in Curved Channel Caused by Typhoon", International Symposium on Disaster Mitigation & Basin-Wide Water Management, 2003.

◎ 논문접수일 : 2004년 06월 11일

◎ 심사의뢰일 : 2004년 06월 14일

◎ 심사완료일 : 2004년 12월 18일