



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

서서귀수역 동부지역 하천의  
홍수량 및 토사유출량 산정

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

吳 崙 彰

2012年 8月

# 서서귀수역 동부지역 하천의 홍수량 및 토사유출량 산정

指導教授 楊 城 基

吳 崙 彰

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2012 年 8 月

吳崙彰의 工學碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

濟州大學校 産業大學院

2012年 8月

# Evaluation of Eastern Stream Runoff and Sediment in West Seogui Watershed, Jeju Island

Yun-Chang Oh

(Supervised by Professor Sung-Kee Yang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirements for the degree of Master of Engineering

2012. 8.

This thesis has been examined and approved.

Department of construction & Environmental Engineering  
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차 .....	i
표 목 차 .....	iii
그 립 목 차 .....	v
Summary .....	vii
<b>I. 서론</b> .....	<b>1</b>
1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 .....	4
1.3 연구의 방법 .....	5
<b>II. 서서귀유역의 개황</b> .....	<b>6</b>
1. 연구대상 유역 .....	6
1.1 유역의 현황 .....	9
1.2 유역의 특성 .....	11
1.3 하도의 현황 .....	22
2. 유역의 수문기상 현황 .....	25
2.1 수문조사 .....	25
<b>III. 확률강우량 및 유효강우량 산정</b> .....	<b>33</b>
1. 강우량 분석 .....	33
1.2 강우자료 수집 및 분석 .....	33
1.3 확률강우량 산정 .....	37
1.4 설계강우의 시간분포 방법 결정 .....	49
2. 유효강우량 분석 .....	51

2.1 SCS 방법	51
2.2 유역의 선행토양함수조건	52
2.3 유출곡선지수(CN) 산정	53
<b>IV. 하천별 유출량 산정</b>	<b>54</b>
1. 유출량 산정지점	54
2. 홍수유출량 산정	56
2.1 기본 홍수량 산정	56
2.2 계획 홍수량 산정	65
3. 토사유출량 산정	67
3.1 토사유출량 산정모형 및 방법	67
3.2 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량 산정	78
<b>V. 결론 및 제언</b>	<b>81</b>
<b>참고문헌</b>	<b>83</b>
<b>감사의 글</b>	<b>85</b>

## 표 목 차

Table. II-1 Status of watershed area, stream basin and stream density	7
Table. II-2 Status of the drainage system	10
Table. II-3 General characteristics of the basin	11
Table. II-4 Configuration of the area, according to variable altitude	12
Table. II-5 Average altitude and slope of the basins	12
Table. II-6 Bed slope of the stream	13
Table. II-7 Characteristics of soil types	17
Table. II-8 The rate of hydrologic soil group	17
Table. II-9 Status of land use	18
Table. II-10 Status of land use located around	21
Table. II-11 Construction of river maintenance in Jeju island	25
Table. II-12 Status and location of meteorological post	26
Table. II-13 Weather data by year of seoguipo meteorological post	28
Table. II-14 Weather data by month of seoguipo meteorological post	30
Table. II-15 Rainfall data by month of seoguipo meteorological post	31
Table. III-1 Annual maximum precipitation fixed duration at Seoguipo meteorological post	34
Table. III-2 Conversion factor between fixed and sliding durations	35
Table. III-3 Annual maximum precipitation sliding duration at Seoguipo meteorological post	36
Table. III-4 Statistics of Annual maximum precipitation data	37
Table. III-5 Appropriate probability distributions at different rainfall duration	39
Table. III-6 Comparison of probability precipitation at different rainfall duration	40
Table. III-7 Annual areal rainfall at altitude	41
Table. III-8 Estimate the ratio of rainfall at altitude	42
Table. III-9 Estimate the coefficient of rainfall correction at estimating	

location .....	43
Table. III-10 Probability precipitation by correcting altitude.....	44
Table. III-11 Probability rainfall intensity at different rainfall duration.....	45
Table. III-12 Probability rainfall intensity formula during short duration.....	46
Table. III-13 Probability rainfall intensity formula during long duration.....	47
Table. III-14 Precipitation mass curve data at quartile storm in Seoguipo.....	50
Table. III-15 Regression coefficient of Precipitation mass at quartile storm in Seoguipo .....	50
Table. III-16 Classification of soil group in SCS runoff curve method.....	52
Table. III-17 Selection of SCS runoff curve number (AMC-II).....	53
Table. IV-1 Estimating location for analysis runoff and sediment.....	54
Table. IV-2 Result data of NSCS dimensionless unit hydrograph.....	63
Table. IV-3 Runoff coefficients of various land use.....	64
Table. IV-4 Result of basic flood at estimated location.....	66
Table. IV-5 Result of Design flood at estimated location.....	66
Table. IV-6 Annual rainfall erosivity at rainfall observatory.....	68
Table. IV-7 Estimate of single storm rainfall erosivity(frequency for 50 years).....	70
Table. IV-8 Estimate of single storm rainfall erosivity(frequency for 100 years).....	70
Table. IV-9 Classification of S1 and P1.....	71
Table. IV-10 Soil characteristics and K factor value of each soil type.....	72
Table. IV-11 LS factor value distribution of each basin.....	74
Table. IV-12 VM factor value of various soil condition.....	75
Table. IV-13 Estimate of VM factor value.....	76
Table. IV-14 Estimate of soil erosion by Annual rainfall.....	77
Table. IV-15 Estimate of soil erosion by single storm rainfall.....	77
Table. IV-16 Estimate of sediment delivery ratio.....	79
Table. IV-17 Estimate of soil erosion and sediment.....	80
Table. IV-18 result of sediment.....	80



Fig. III-5 I-D-F Curve (short duration).....	48
Fig. III-6 I-D-F Curve (long duration).....	48
Fig. III-7 Precipitation mass curve by regression analysis.....	50
Fig. IV-1 Map of estimating location for analysis runoff and sediment.....	55
Fig. IV-2 Concept of Clark unit hydrograph.....	58
Fig. IV-3 Nakayasu synthetic unit hydrograph.....	61
Fig. IV-4 NSCS dimensionless unit hydrograph.....	62
Fig. IV-5 Variable sediment delivery ratio between drainage area and soil type.....	78

## Summary

Recent weather changes are resulting in increased damages from heavy rains and typhoons. Downstream regions of rivers, where flood and soil erosion are especially concentrated, are causing reduction in flood arrival and increase in peak runoff due to urbanization. Accordingly, it is necessary to estimate or analyze causes of disasters, to compute runoff of rivers in accordance to meteorological and topographical characteristics, and to establish measures to reduce such disasters.

In this study, Hoesu stream, Daepo stream, Donghoesu stream, Icheonjangmul, and Golse were selected among rivers of West Seogui in Jeju Province based on rivers shown in national base map. Weather and geographic data on these rivers were collected and analyzed to compute appropriate flood runoff and sediment.

Probability of precipitation for target regions was computed using daily precipitation data between 1974 and 2008. Geographical data and effective precipitation were computed with consideration on DEM data, land coverage, and land usage. When computing flood runoff, six methods were compared and the result obtained using Clark unit hydrograph and rational formula was selected. Soil runoff was deduced using RUSLE method.

As a result of study, flood runoff of 14~16.3 m<sup>3</sup>/sec (frequency for 30 years) for two sub-rivers and 43~91 m<sup>3</sup>/sec (frequency for 50~80 years) for four local rivers. Soil runoff was 122~36,589 m<sup>3</sup>/storm (frequency for 100 years) on average.

Such study results can be used as basic data to provide directivity for appropriate response to damages from river disasters. Future studies are deemed necessary on comparison and analysis using actual measurements instead of past data.

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

### 1.1 연구의 배경

제주도는 우리나라 최대의 다우지역으로 연평균 강우량이 2,000mm에 달하고 있으며 투수성이 양호한 지형적 조건으로 인해 대부분의 하천들이 평수기에는 건천을 이루고 있는 반면 홍수기시에는 지속적인 강우나 집중호우, 태풍으로 인한 홍수유출이 발생되고 있다. 한라산에서 발원하여 남북으로 유하되는 하천 특성상 경사가 급하고 유로길이가 짧은 형상을 보여 홍수유출로 인한 내수침수 또는 외수범람, 상부 부유토사에 의한 피해 등이 증가하고 있는 실정이다.

또한 하천 유출량이 최대로 집중되는 최종 출구점은 주거지 및 생활지역이 밀집된 해안가이며 최근 산업화와 인구집중으로 인한 도시화 영향으로 토지이용상태가 급격하게 변화되었다. 이러한 변화는 하천 유출에 직접적인 영향을 미치게 되었으며 특히 도시화에 따른 불투수층 면적 증가는 도시화 이전과 비교하였을 때, 홍수도달시간의 감소, 침투유출량의 증가로 인한 피해를 야기하고 있다.

우리나라 자연재해 피해현황을 분석해보면 사망, 이재민, 건물, 농경지, 공공시설 피해 등으로 인한 재산피해가 증가하고 있으며 호우, 태풍으로 인한 풍수해 피해가 80% 이상에 달하고 있다. 제주도는 여름철 북상하는 태풍의 이동경로에 위치하여 풍수해에 대한 영향이 더욱 크며 최근 기후변화로 인한 강우의 집중적인 형태로 인하여 그 피해가 증가하고 있으므로 재해유발요인을 예측, 분석하고 기상학적 및 지형학적 특성에 맞는 하천유출량을 산정하여야 하며 이에 대한 대책 및 저감방안 수립·시행이 필요하다.

강우-유출을 이용한 홍수량 산정은 강우자료, 유역특성인자, 홍수량산정 방법 등 결과에 영향을 미칠 수 있는 다양한 변수들을 고려하여야 하며, 검정 및 보정을 통한 타당성 검토가 필요하다. 각 변수와 이를 포함한 설계강수량 산정, 유출 모의해석 등에 대한 연구와 개선을 위한 노력은 과거서부터 현재까지 꾸준히 진행되고 있다.(이와 박: 1986, 이 등: 1989, 운과 원: 1998, 윤: 1998, 김과 성: 2008, 오 등: 2010)

강우의 시간분포와 홍수량의 관계에 관한 연구는 강우의 시간분포와 침투유출 간의 상관성에 대해 이루어 졌으며 국내의 경우 서승덕(1965)을 최초로 하여 박찬영(1981), 이근후(1983) 등이 이에 대해 연구하였다.

박종영 등(2004)은 중규모 하천유역에서 침투홍수량을 발생시키는 강우의 시간적분포를 Huff의 4분위로 제시하고 임계지속시간을 유역면적의 함수로 표시되는 회귀식으로 나타내었다.

보다 정확한 수문해석을 위해 유역의 물리적 특성이 반영된 지형인자 및 수문 모형의 매개변수에 대한 연구도 진행되고 있으며 선행토양함수조건(AMC)에 따른 유출곡선지수(CN) 변화에 따른 유출량 분석에 대한 연구도 진행되고 있다. 조홍제 등(2001)은 CN의 이론적 배경으로 볼 때 국내 지형에서의 한계성을 제시하였으며 박정훈 등(2005a, 2005b)은 선행강수량에 따른 민감도 분석을 시행하여 대상 강우의 특성에 따른 추가적인 검토의 필요성을 보였다.

윤태훈 등(2005)은 도달시간을 유효우량이 끝나는 시점과 수문곡선의 변곡점과의 시간간격으로 조사하여 유역면적, 연장, 경사 등의 함수로 표현되는 다중 회귀식의 형태로 제시하였으며 Clark 단위도의 저류상수 또한 유역면적, 연장 등의 다중회귀식의 형태로 제시하였다.

토사유실량에 대한 연구는 Wischmeier와 Smith(1978)가 USLE(Universal Soil Loss Equation) 모형으로 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 최초로 제안하였으며 그 후 Renard et.al.(1993)에 의해 강우침식인자, 토양침식인자 등의 매개변수 조건을 포함할 수 있는 RUSLE(Revised USLE)를 제시하였다.

김영표 등(2008)은 가야산 국립공원의 토양침식에 대해 분석한 바 있으며 이종설과 정재학(2009a, 2009b)은 강원지역의 RUSLE 인자특성에 대하여 분석하여 현장토양과의 오차를 제시하였다.

박경훈(2003)은 RUSLE 모형을 이용하여 토사유실량을 예측하고 토양침식인자 K값과 토양성분, 투수성과의 상관관계를 보였으며 김주훈 등(2007)은 FARD2006을 이용하여 강우인자 R을 분석하여 토양유실분포도와 토양유실위험등급도를 작성하였다.

최근에는 RUSLE 모형과 지형공간정보시스템(GIS)를 활용하여 토사유실량 예측에 대한 연구가 진행되고 있으며 한재석과 김주훈(2001), 이근상 등(2004), 박재훈 등(2000) 등은 토사유실량을 산출하기 위하여 RUSLE 모형과 GIS 프로그램을 연계하여 분석하여 강우시 발생한 유사량과의 관련성을 보고하였다. 국내에서는 토양침식량 예측과 침식인자에 대한 연구는 주로 하천을 대상으로 하여 실시되고 있어 산림구역의 토양침식에 대한 연구도 필요한 실정이다.

USLE 및 RUSLE 모형 이외의 토양침식 모형은 SEDD(Sediment Delivery Distributed) 모형, WEPP(The Water Erosion Prediction Project Model) 모형, SATEEC(Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control) 모형 등이 있으나 WEPP 모형, SEDD 모형 등은 매개변수의 수가 많은 이유로 사용이 줄어들고 있다.

## 1.2 연구의 목적

일반적으로 유역의 홍수와 갈수피해를 경감시키고, 우수와 유로의 이용도를 향상시키며, 유역의 수자원개발 및 이용을 위해서는 각종 하천관련 자료들을 참고하여 하천의 자연, 사회, 문화, 경제적 조건을 종합적으로 고려하는 유역 및 하천 정비사업계획 수립이 필요하다.(경기도 건설교통국, 2004)

유역전체에 대한 체계적이며 효율적인 종합계획 수립을 위해서는 충분한 사전 현장조사와 적합한 검토 및 분석이 수행하여야 하며, 유역의 특성과 자연적 현황, 사회·문화적 현황, 하천의 치수, 이수, 환경현황 등을 고려하는 연구가 필요하다(양: 2001, 김 등: 2004, 우:2004).

이러한 배경하에 제주도 전역 하천의 수계별에 따라 일관성 있는 홍수분석이 필요하며 계획홍수량의 적정성을 평가하고 치수안전도 기준에 대한 종합적인 검토 및 홍수방어 대책을 수립하여 대책의 타당성을 검토함으로써 제주도 전역 하천유역의 항구적인 수해방지에 대한 계획 수립이 필요하다.

본 연구에서는 국가수치기본도에 나타난 하천을 기준으로 제주도 지형과 유역 분포를 감안하여 분류한 서서귀수역의 하천 중 대상지역을 선정하여 기상자료, 지형자료를 구축하고 분석함으로써 하천유출에 따른 적합한 홍수유출량과 토사 유출량을 산정하였다.

이와 같은 연구는 하천재해로 인한 피해에 대처할 수 있는 방향을 제시하기 위한 기초 연구이며 해당유역의 하천정비계획 및 재해방지대책수립의 기초자료로 활용되고자 한다.

### 1.3 연구의 방법

본 연구에서는 대상지역으로 선정된 서서귀수역 동부지역 하천인 회수천, 대포천, 동회수천, 이천장물, 골세의 최종 출구점 및 주요지점의 홍수유출량 및 토사유출량을 산정하였다.

분석을 위해 입력자료인 기상자료를 구축하여 대상유역에 적합한 확률강우량을 산정하였으며 지형자료 및 토지피복도, 토양도를 이용하여 유역특성인자를 산출하였다. 하천홍수량 산정시 홍수도달시간의 산정, 홍수량 산정 방법 결정, 적정 유출모형의 결정과 침투홍수유출량 분석을 실시하였으며 토사의 유출 특성을 파악하기 위하여 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량을 산정하여 대상 하천의 유출특성을 모의하였다.

연구내용의 흐름도는 다음 Fig. I-1과 같다.

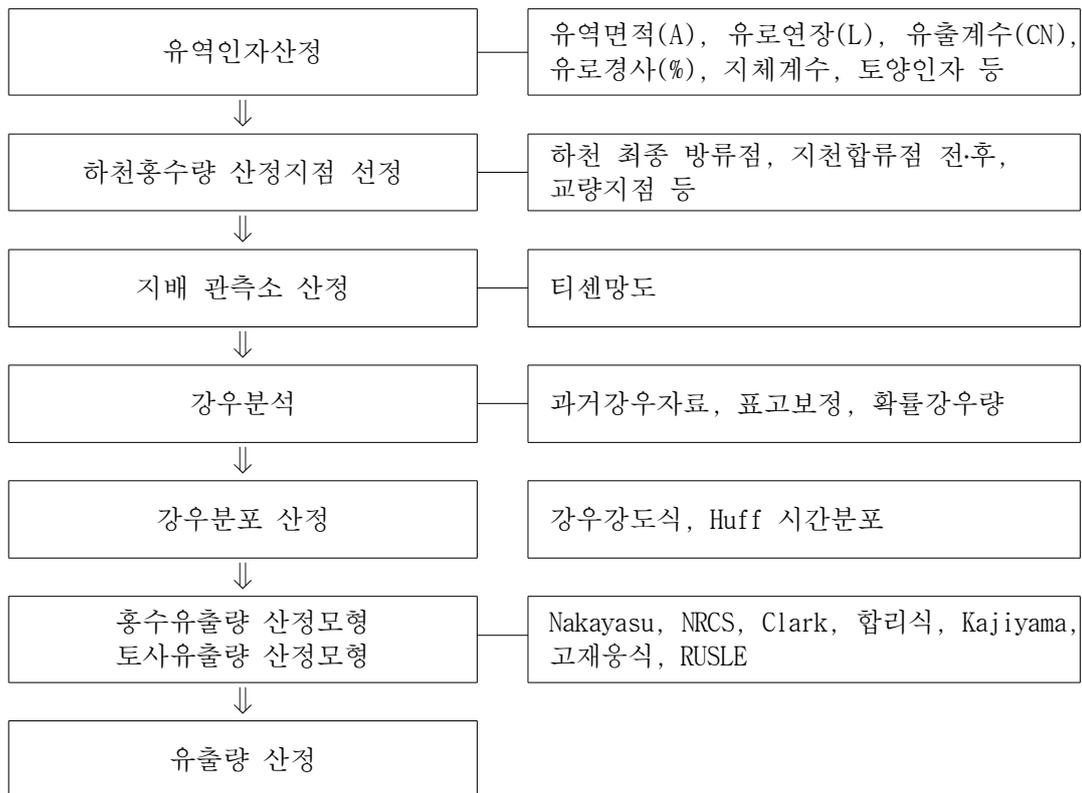


Fig. I-1 Flow chart of runoff estimate

## II. 서서귀유역의 개황

### 1. 연구대상 유역

국가수치기본도에 나타난 하천을 기준으로 제주도 하천유역을 분석한 결과, 하천유역 총수는 73개이며, 유역면적은 1.1km<sup>2</sup>에서 116.7km<sup>2</sup>로서, 평균면적은 25.0km<sup>2</sup>로 분석되었다. 지형과 유역분포를 감안할 때, 16개의 수역으로 구분할 수 있으며 수역면적 67.68 ~ 208.92km<sup>2</sup>의 범위를 보이고 있으나 평균적으로 100km<sup>2</sup> 내외의 양상을 보인다. 단위면적당 하천의 발달정도를 나타내는 지수인 하천밀도는 0.13km/km<sup>2</sup>에서 2.55km/km<sup>2</sup>로서, 평균하천밀도는 1.04km/km<sup>2</sup>로 나타났다. 수역별 유역수는 애월수역, 서서귀수역, 남원수역이 각각 8개의 하천유역을 포함하고 있으며, 조천수역과 안덕수역은 각각 2개의 유역을 가지고 있다. 가장 넓은 수역은 표선수역으로 총 집수구역 면적의 11.4%인 208.92km<sup>2</sup>를 차지하고 있고, 가장 좁은 수역은 안덕수역으로 67.68km<sup>2</sup>에 불과하다. 수역별 하천유역의 평균면적은 표선수역 및 조천수역이 각각 69.6km<sup>2</sup> 및 62.4km<sup>2</sup>로 가장 크고, 서서귀수역이 10.4km<sup>2</sup>로 가장 작다. 하천밀도는 동부지역(0.71)과 서부지역(0.52)이 남부지역(1.51)과 북부지역(1.81)보다 하천발달이 불량하게 나타났으며 하천이 가장 발달되어 있는 수역은 서제주수역으로서 하천밀도가 2.55로 가장 높게 나타난 반면에, 성산수역 및 구좌수역은 하천밀도가 각각 0.13 및 0.21로서 하천발달이 빈약한 것으로 나타났다. 특히, 하천밀도가 1.0이상인 수역은 10개소로서, 제주시와 서귀포시, 표선, 남원, 안덕 등 북부지역과 남부지역에 하천이 발달되어 있음을 알 수 있다. 제주도 하천수계의 면적, 밀도현황 및 구분도는 Table. II-1, Fig. II-1과 같다.

서서귀수역은 제주도 수역구분 중 남부지역 수역에 속하며 행정구역상 대포동, 강정동, 법환동 일대를 유하하는 하천을 포함하고 있다. 하천유역의 평면면적은 가장 작으나 하천밀도는 높게 나타남으로서 수계가 발달함을 알 수 있으며 지방하천 및 소하천이 조밀하게 형성되어 있다. 대표적인 하천은 수역 동부에 위치한 지방하천인 회수천, 대포천, 동회수천과 소하천인 이천장물, 골세가 있으며 이를 연구대상지역으로 선정하였다(Fig. II-2).

Table. II-1 Status of watershed area, stream basin and stream density

수역명	하천연장(km) (A)	수역면적(km <sup>2</sup> ) (B)	하천밀도(km/km <sup>2</sup> ) (A/B)	하천유역면적(km <sup>2</sup> )		
				유역개수	평면면적	
합 계	1,907.1(100)	1,827.88(100)	1.04	73	25.0	
동부지역	소계	530.8(27.8)	742.78(40.6)	0.71	25	29.7
	조천수역	49.0(2.6)	124.78(6.8)	0.39	2	62.4
	구좌수역	36.7(1.9)	171.28(9.4)	0.21	5	34.3
	성산수역	14.6(0.7)	113.09(6.2)	0.13	7	16.2
	표선수역	275.9(14.5)	208.92(11.4)	1.32	3	69.6
	남원수역	154.6(8.1)	124.71(6.8)	1.24	8	15.6
서부지역	소계	194.1(10.2)	370.17(20.3)	0.52	11	33.7
	대정수역	33.3(1.8)	123.79(6.8)	0.27	3	41.3
	한경수역	46.2(2.4)	103.78(5.7)	0.45	5	20.8
	한림수역	114.6(6.0)	142.60(7.8)	0.80	3	47.5
남부지역	소계	565.2(29.6)	373.44(20.4)	1.51	19	19.7
	동서귀수역	184.5(9.7)	117.04(6.4)	1.58	4	29.3
	중서귀수역	181.4(9.5)	105.82(5.8)	1.71	5	21.2
	서서귀수역	128.3(6.7)	82.90(4.5)	1.55	8	10.4
	안덕수역	71.0(3.7)	67.68(3.7)	1.05	2	33.8
북부지역	소계	617.0(32.4)	341.49(18.7)	1.81	18	19.0
	애월수역	89.2(4.7)	84.78(4.6)	1.05	8	10.6
	동제주수역	143.1(7.5)	77.56(4.2)	1.85	3	25.9
	중제주수역	158.3(8.3)	90.49(5.0)	1.75	3	30.2
	서제주수역	226.4(11.9)	88.66(4.9)	2.55	4	22.2

주 : 1) 수역은 집수구역을 말하며, 우도·추자도 등의 부속도서, 내륙바다 및 백록담지역을 제외한 지역에 대한 GIS분석 결과. 2) ( )내는 총면적에 대한 비율임.  
 자료 : 1)수자원종합개발계획수립보고서(건설부·수자원공사, 제주도, 1993). 2)중산간지역 종합조사 (제주도, 1997). 3)국가수치지도(1:5000)의 GIS분석 결과.

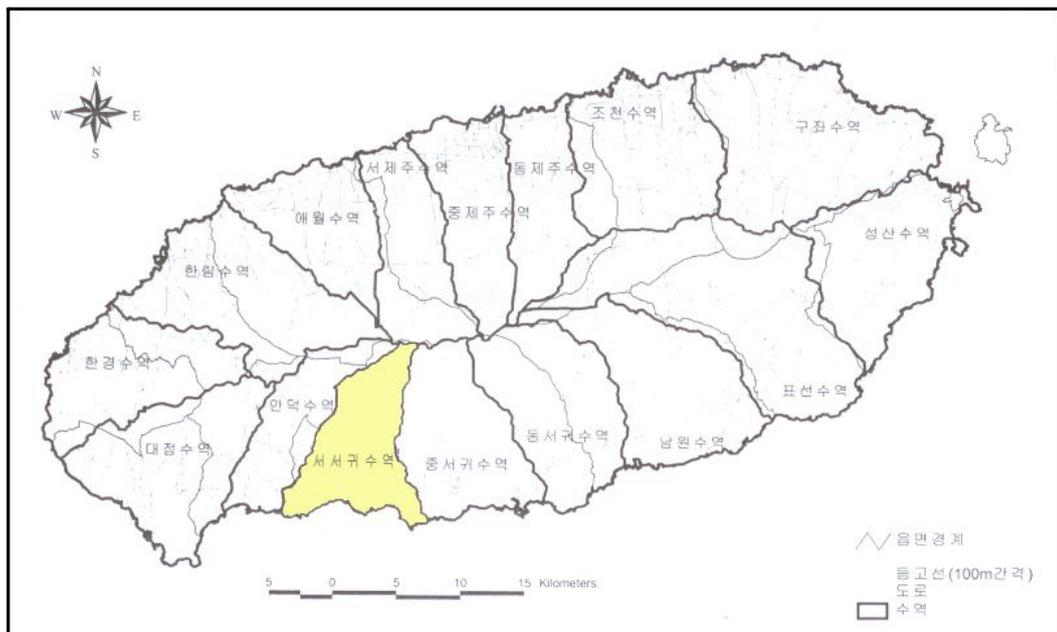


Fig. II-1 Classification of watershed in Jeju island(Ministry of construction, 1993)

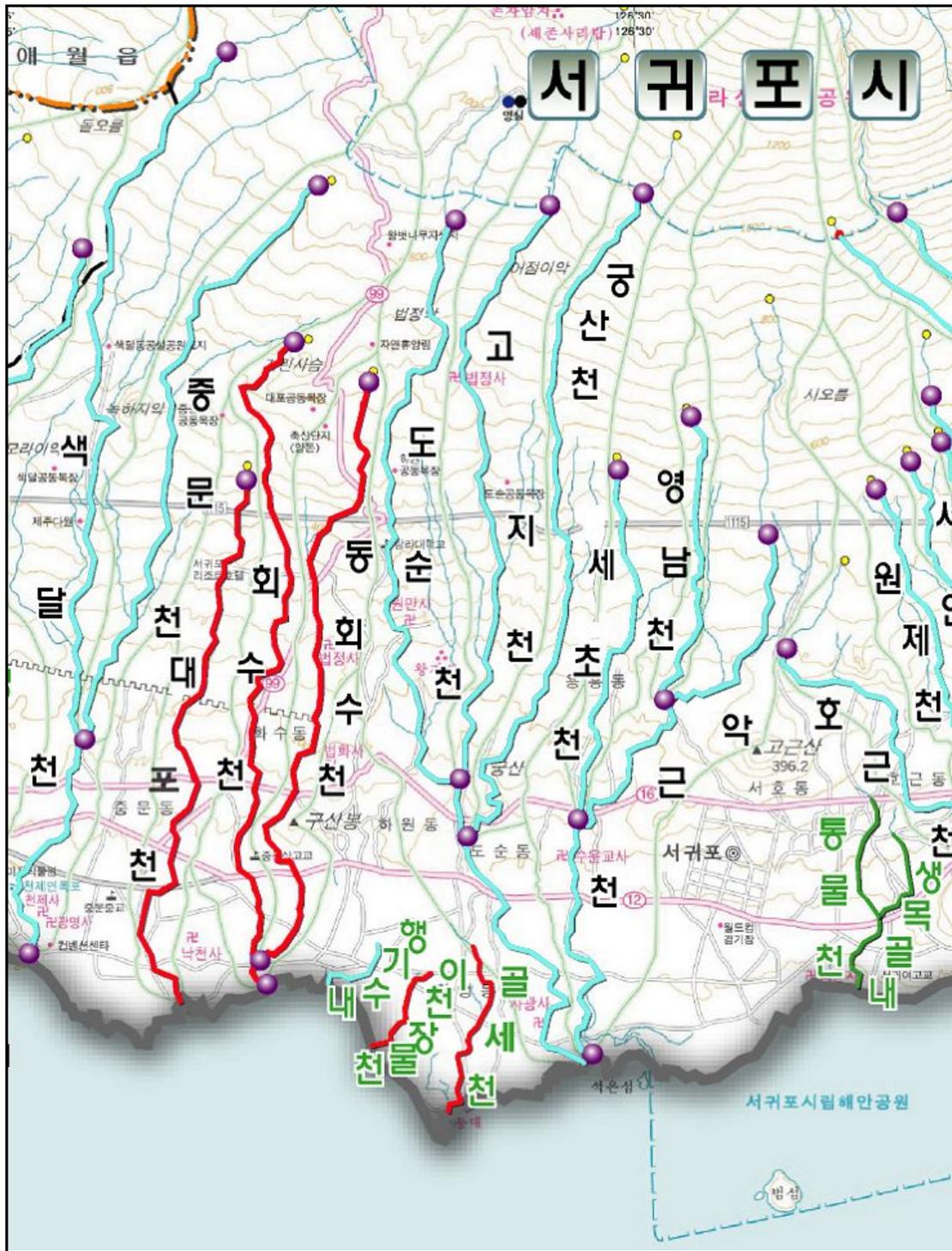


Fig. II-2 Basin for the study

(Hoesu stream, Daepo stream, Donghoesu stream, Icheonjangmul, Golsse)

## 1.1 유역의 현황

### 1) 유역의 개황

회수천은 제주도의 남부에 위치하고 있는 지방하천으로 서귀포시 중문동에서 바다로 직접 유출되고 있으며 중·상류부 구간에서는 우량의 대부분이 지하로 침투하여 건천을 형성하고 있다. 유로에 비해 유역폭이 작은 전형적인 제주도 하천의 특성을 가지고 있으며 지류인 동회수천을 포함한 전체 유역면적은 10.27km<sup>2</sup>, 유로연장은 11.30km이다. 수원은 거린사슴(EL.743m) 북단에서 발원하여 남쪽으로 약 0.5km 남하한 지점에서 지표면 유출을 시작하여 해안까지 유하하고 있으며, 토지현황을 살펴보면 총면적 4.58km<sup>2</sup> 중 임야면적이 2.88km<sup>2</sup>로 62.96%를 차지하고 있고, 농지면적이 1.54km<sup>2</sup>로 33.62%, 대지 및 기타가 0.16km<sup>2</sup>로 3.42%를 차지하고 있다.

대포천은 한라산 남측의 산록에서 발원한 하천으로서 산지하천의 특성을 가지고 있으며 상류부는 삼림이 무성한 임야지이고 중·하류지역은 주거지 또는 과수원(감귤밭)을 관류하고 있다. 대포천은 홍수시에만 물이 흐르고 평상시에는 전혀 물이 흐르지 않는 건천으로 유역면적은 3.76km<sup>2</sup>이고, 유로연장은 7.6km로서 평균고도는 EL. 233.9m이며 평균경사는 16.5%이다. 유역내 지질분포는 표고 EL. 700m에서 EL. 600m까지 고지대는 장석현무암이 주로 분포되어 있고, EL. 600에서 하구까지는 조면암이 고르게 분포되어 있다.

동회수천은 제주도의 남부에 위치하고 있는 지방하천으로 서귀포시 중문동에서 회수천에 합류되고 있으며 상류 유역은 대부분 산지로 구성되어 있고 중하류 유역은 감귤농장으로 구성되어 있다. 회수천 합류지점을 종점으로 하여 유역면적은 4.83km<sup>2</sup>, 유로연장은 9.78km를 형성하고 있으며 수원은 한라산 남측 산록에서 발원하여 남쪽으로 약 0.3km 남하한 지점에서 지표면 유출을 시작하여 해안가 전 0.5km에서 회수천에 합류되는 하천으로 본류인 회수천과 마찬가지로 유로에 비해 유역폭이 작은 전형적인 제주도 하천의 특성을 나타내고 있다. 동회수천의 토지현황을 살펴보면 총면적 4.83km<sup>2</sup> 중 임야면적이 2.38km<sup>2</sup>로 49.16%를 차지하고 있고, 농지면적이 2.34km<sup>2</sup>로 48.50%, 대지 및 기타가 0.12km<sup>2</sup>로 2.33%를 차지하고 있다.

이천장물은 16번국도 직하류에서 발원하여 농경지를 관류하여 남서쪽으로 흘러 남해로 유입되는 소하천으로 유역면적은 2.1km<sup>2</sup>이고 유로연장은 3.73km이며 골세는 12국도 직하류에서 발원하여 강정동 마을을 관류하여 남해로 유입되는 유역면적 1.79km<sup>2</sup>, 유로연장 3.80km의 소하천이다.

## 2) 수계의 구성

수계(Drainage System)는 동일한 유역에서 속해 있으면서 공통의 유출구를 가지는 모든 유로를 통칭하는 것으로 지방하천인 회수천, 대포천, 동회수천과 소하천 이천장물, 골세의 수계현황을 살펴보면 다음 Table. II-2와 같다.

Table. II-2 Status of the drainage system

하천명	수계			하천의 구간		하천연장 (km)
	본류	제1지류	제2지류	기점	종점	
회수천	회수천			서귀포시 대포동 산1	서귀포시 대포동 2320	9.50
대포천	대포천			서귀포시 중문동 (하갓성)	서귀포시 대포동 (해안)	7.6
동회수천	회수천	동회수천		서귀포시 대포동 산1	서귀포시 월평동 회수천합류점	8.60
이천장물	이천장물			월평동 31번지선 (암거)-	월평동 662번지서	
골 세	골 세			도순동 415번지선	강정동 4968번지선	

자료 : 회수천, 동회수천 - 한국하천 일람 (건설교통부, 2004.12)

대포천 - 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서(서귀포시, 2001.12)

이천장물, 골세 - 서귀포시 소하천정비 종합계획 보완 보고서(서귀포시, 2005.2)

## 1.2 유역의 특성

### 1) 유역의 평면적 특성

유역면적, 유로연장, 유역 평균 폭 및 형상계수와 같은 유역의 평면특성은 하천의 유출특성, 특히 유출규모를 파악하는데 중요한 인자로서 하천을 이해하고 유역의 수문사항을 분석하는데 있어서 매우 중요한 요소이다.

유역의 형상계수는 유역의 형태를 나타내는 무차원의 수치로서 형상계수가 1.0에 가까울수록 유역의 형상은 정방형에 근접하며, 형상계수가 클수록 유출의 집중성향이 매우 크므로 침투홍수량이 크게 발생된다. 반면에 형상계수가 작으면 유출의 집중성향도 약해져서 침투홍수량이 비교적 작게 나타날 것으로 예측할 수 있다. 연구지역 내의 하류부 하천에 대한 유역면적, 유로연장, 유역평균폭, 형상계수는 다음과 같다(Table. II-3).

Table. II-3 General characteristics of the basin

하 천	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L	형상계수 A/L <sup>2</sup>
회수천	4.58	9.71	0.91	0.08
대포천	3.76	7.60	0.49	0.06
동회수천	4.83	9.78	0.49	0.05
이천장물	2.10	3.73	0.56	0.15
골 세	1.79	3.80	0.47	0.12

### 2) 유역의 입체적 특성

유역의 입체적 특성 결정 인자로는 하천경사, 유역경사, 표고별 면적분포 등이 있다. 유출특성을 결정하는 주요인자인 표고, 경사분포 분석시, 지형자료 구축을 위해 대상유역의 1:5,000의 수치지도를 선정하였으며 해당 수치지도를 TM좌표계를 가진 Shape file로 변환하여 Arcview 모형을 이용한 수치표고(DEM)을 생성하여 유역의 입체적 특성을 산정하였다.

표고별 면적분포는 고도에 따라 변하는 강우, 증발, 식생, 수문사항 등에 영향을 미치는 인자인 바, 각 하천별 표고별 면적 구성을 산정하였으며 Table. II-4와 같다.

Table. II-4 Configuration of the area, according to variable altitude

하천명	표 고 (EL. m)								
	≥1,600	≥1,400	≥1,200	≥1,000	≥ 800	≥ 600	≥ 400	≥ 200	≥ 0
회수천	-	-	-	-	0.002	1.01	1.98	3.48	4.58
대포천	-	-	-	-	-	-	-	-	-
동회수천	-	-	-	-	-	0.74	2.03	3.02	4.83
이천장물	-	-	-	-	-	-	-	-	2.10
골 세	-	-	-	-	-	-	-	-	1.79

각 하천을 대상으로 유역평균고도를 조사해본 결과 회수천의 평균고도는 EL. 389.9m, 대포천 EL. 233.9m, 동회수천 EL. 333.3m, 이천장물 EL. 73.0m, 골세 EL. 45.2m로 나타났으며 유출, 토사의 침식등과 관계가 깊은 인자인 유역의 평균경사는 회수천 7.75%, 대포천 16.9%, 동회수천 7.54% 이천장물 3.86%, 골세 2.36%로 나타났다(Table. II-5, Fig. II-3~7).

Table. II-5 Average altitude and slope of the basins

하 천 명	평 균 고 도 (EL.m)	평 균 경 사 (%)	비 고
회수천	389.9	7.75	지방하천
대포천	233.9	16.5	지방하천
동회수천	333.3	7.54	지방하천
이천장물	73.0	3.86	소하천
골 세	45.2	2.36	소하천

하천별 하상경사는 1:5,000 수치지도를 이용하여 산정한 바 각 하천별 하상경사는 1/14 ~ 1/74 로 급한 경사를 보이고 있으며, 하천별 하상경사는 Table. II-6과 같다.

Table. II-6 Bed slope of the stream

하천명	구간(No.)	최심하상경사	비고
회수천	No.24 ~ No.51+20	1/25	
	No.51+20 ~ No.60	1/20	
대포천	No. 1 ~ No.35	1/20	
	No.35 ~ No.70	1/37	
	No.70 ~ No. 85	1/12	
동회수천	No.0 ~ No.30	1/25	
이천장물	No.0 ~ No.14+25	1/34	
	No.14+25 ~E.P	1/30	
골세	No. 0 ~ No. 2	1/167	
	No. 2 ~ No. 14	1/59	
	No.14 ~ No.33	1/52	
	No.33 ~ No. 41	1/38	
	No.41 ~ E.P	1/44	

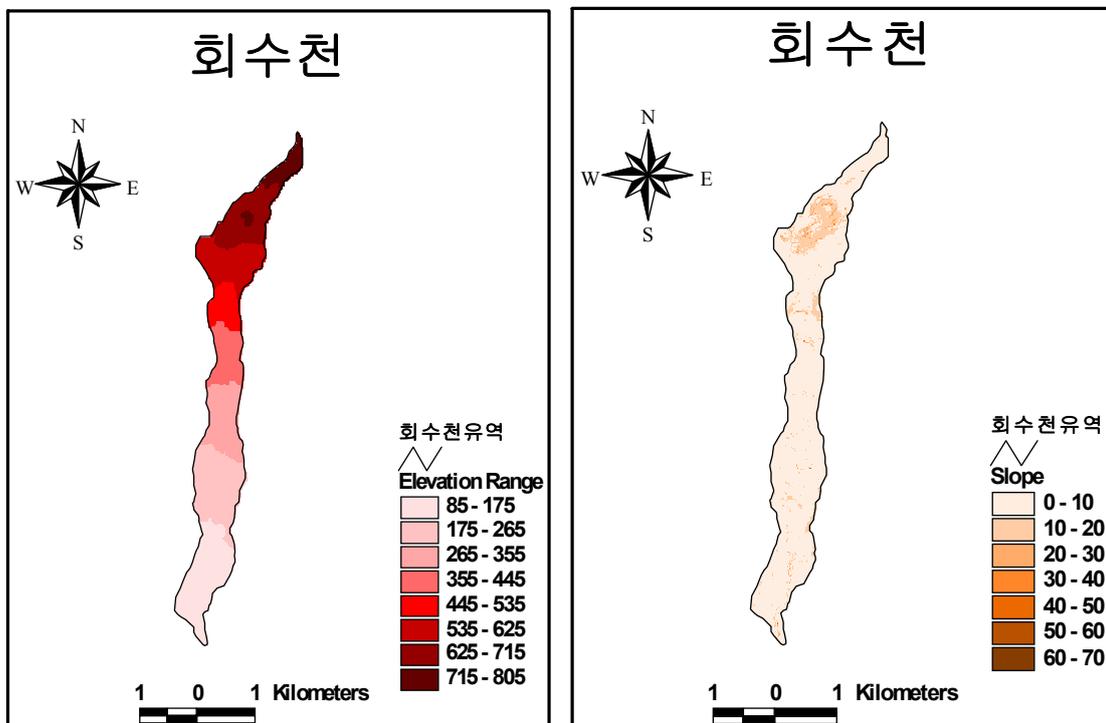


Fig. II-3 Analysis map of altitude and slope in Hoesu stream

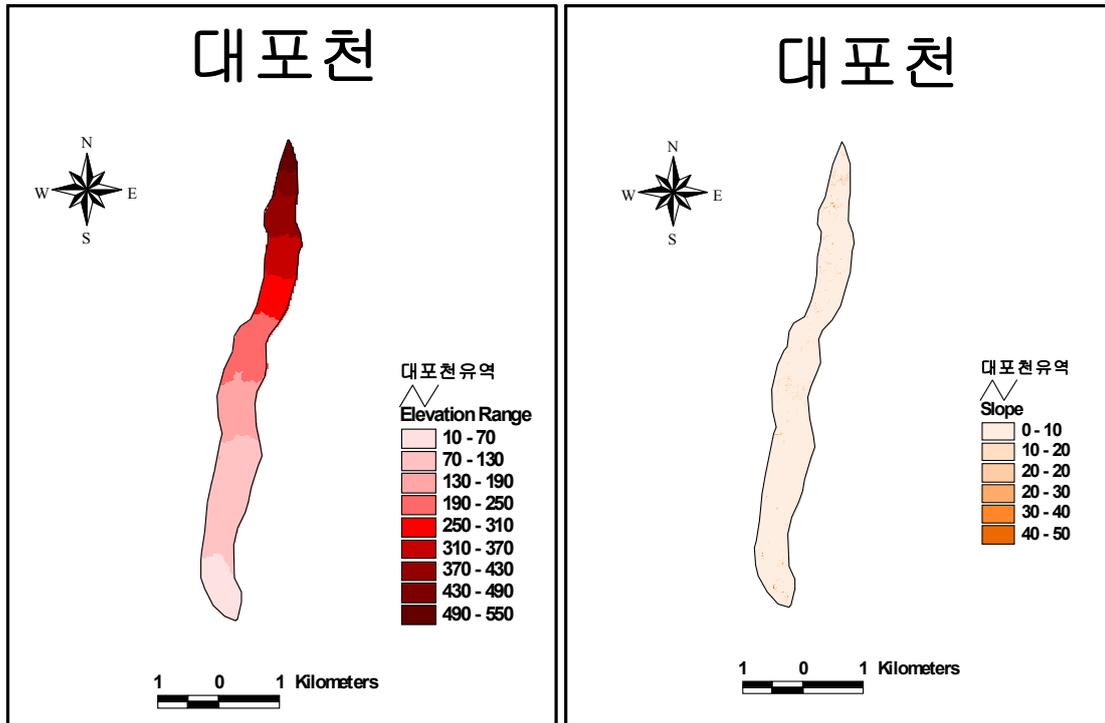


Fig. II-4 Analysis map of altitude and slope in Daepo stream

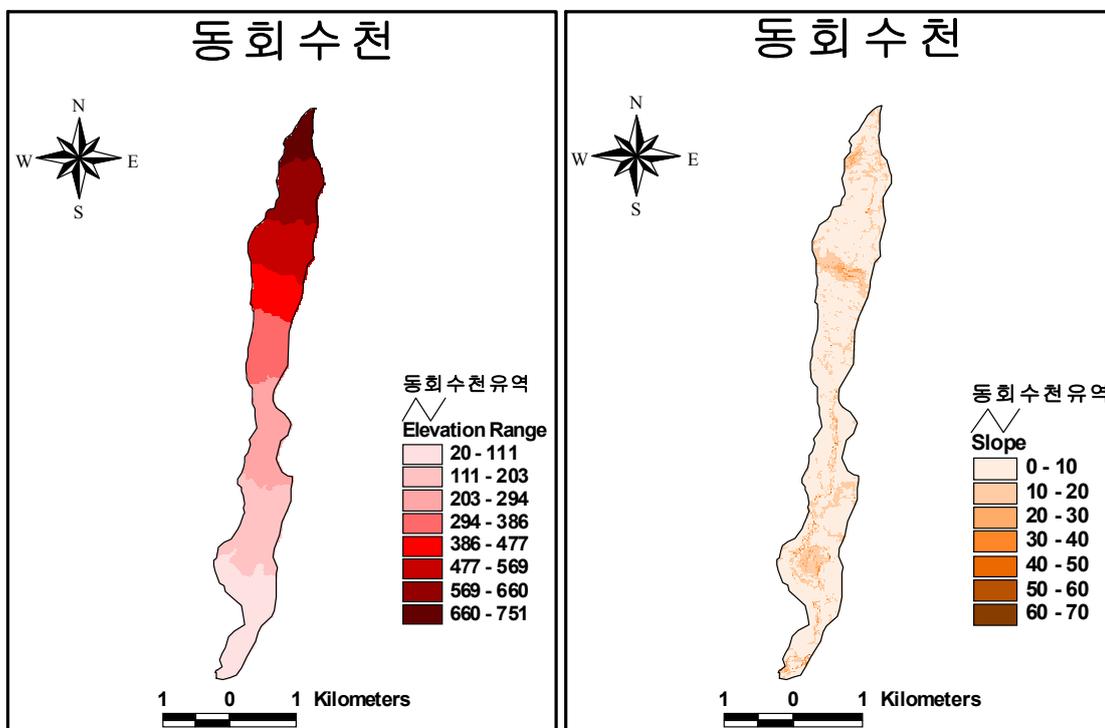


Fig. II-5 Analysis map of altitude and slope in Donghoesu stream

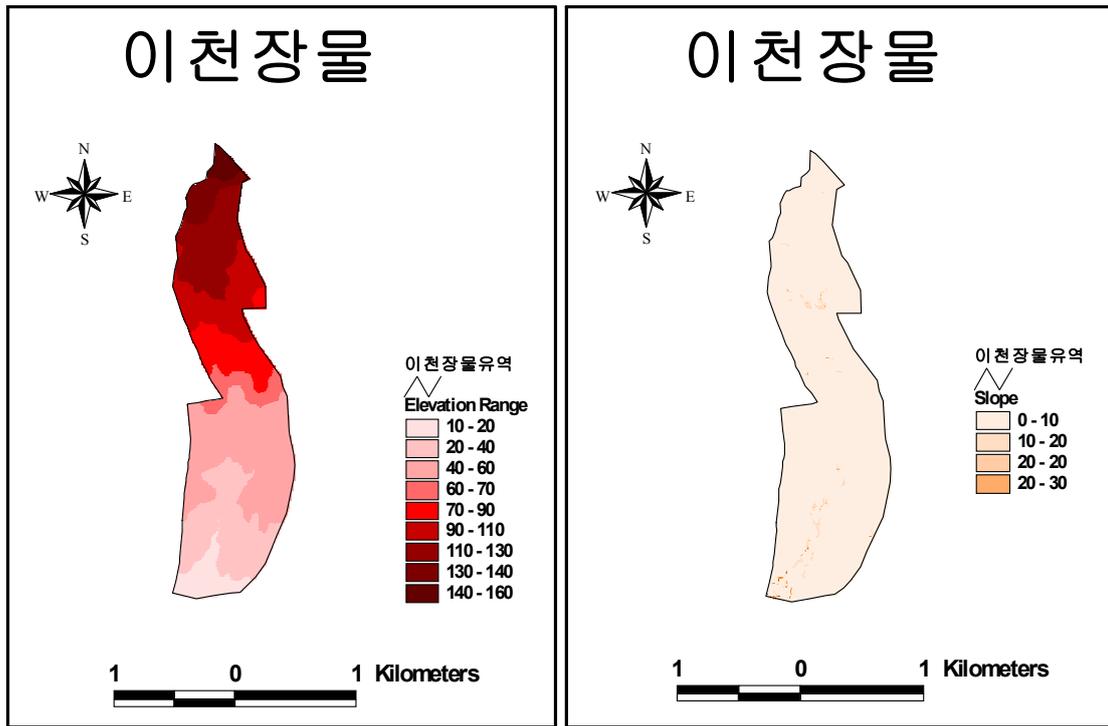


Fig. II-6 Analysis map of altitude and slope in Icheonjangmul

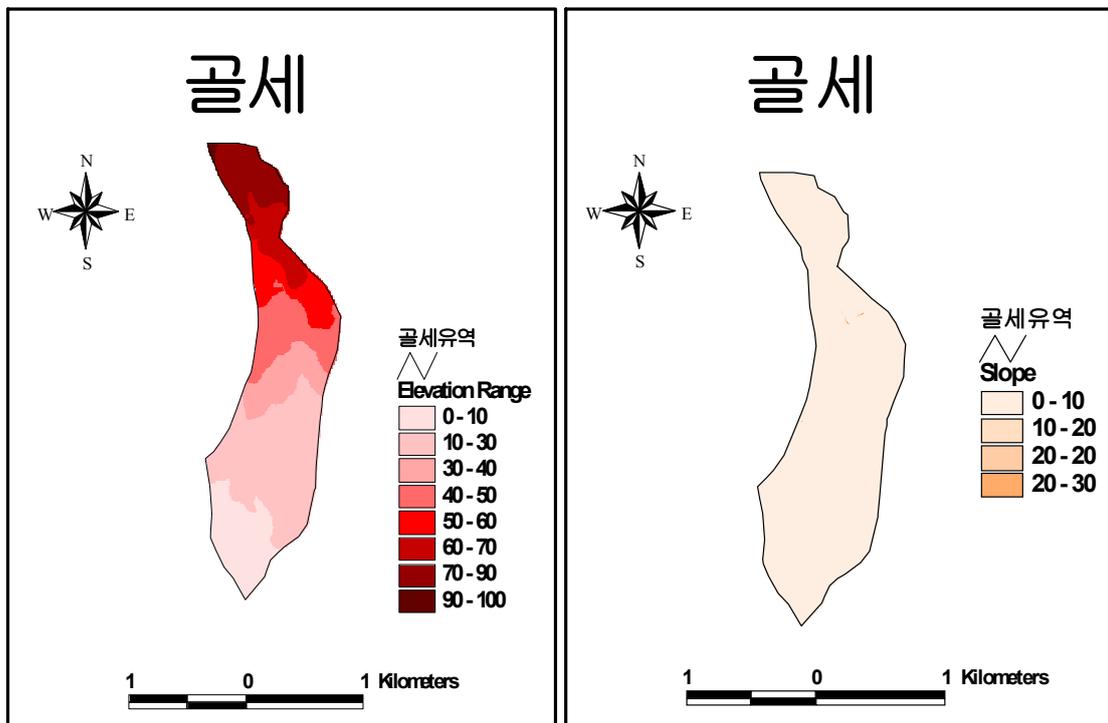


Fig. II-7 Analysis map of altitude and slope in Golse

### 3) 유역의 지형 및 토양

제주도는 신생대 제3기 플라이오세(Pliocene Epoch) 말부터 역사시대에 걸쳐 활동한 화산분출물로 형성되었다. 따라서 수계, 산계 및 해안 지형은 제주도를 형성한 화산의 활동시기 및 활동양상과 관련되어 다양한 특징을 나타내고 있다. 제주도는 장축방향이 N70°E인 타원형으로 이는 한반도의 남해안선과 나란하며, 한반도 지체구조 방향 중, 하나인 요동방향과 일치한다. 섬의 중앙부에 있는 한라산을 중심으로 전체적으로 순상화산체를 이루며, 동-서 사면은 경사가 매우 완만(3~5°)하고 남-북 사면의 경사는 이보다 약간 급(5~10°)한 편이다. 해안은 총 길이가 약 419.95km(육지부-약 308.32km, 도서부-약 111.63km)로서, 전체적으로 단조로우며 대부분은 화산암이 노출된 암석해안이고, 국지적으로 소규모 해변(pocket beach)과 해안사구가 발달하여 있다.

연구대상 하천의 유역의 위치는 타원형의 제주도 남측 중앙에 해당된다. 북쪽은 한라산 정상부를 포함한 1,900m의 고지대를 이루고 있으며, 남측으로는 해안을 따라 완만한 경사를 갖는 저지대가 좁게 발달한하여 있다.

대상 하천은 대부분 건천이지만 동회수천은 하류로 가면서 용천수의 용출에 의한 유출이 발생된다.

유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치고 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로 총 강우량 중 직접유출로 유하하는 유효우량의 크기에 영향을 주는 중요한 인자이다.

연구에서는 토양분포를 조사하기 위하여 농업과학기술원에서 발간한 1/25,000 정밀토양도를 이용하였다. 정밀토양도는 우리나라의 토양을 표토와 심토의 특성, 침식정도, 경사, 배수 등의 특성을 고려하여 387개의 토양통, 1,324종의 토양으로 분류하였으며, 정밀토양도를 활용하여 수문분석을 하기 위하여 『한국토양의 SCS 수문학적 토양군으로의 분류기준(정정화 등), 1995』 및 『정밀토양도 토양통의 수문학적 분류(정정화 등), 1995』의 기준을 사용하여 토양을 SCS수문학적 토양군으로 분류하였다.

토양군 분류작업을 위한 토양종류별 특성은 Table. II-7과 같으며, 분석을 통한 하천유역별 수문학적 토양군 비율은 Table. II-8과 같다.

Table. II-7 Characteristics of soil types

구 분	토 양 특 성			
조 직 군	sandy(skeletal) Loamy sk.(coarse)	Co.loamy Co.silty Vol. ashes	Fine loamy Loamy sk.(fine)	Fine silty Clayey (finevery fine)
배수등급	매우양호	다소양호	불량	매우불량
투수성 (cm/hour)	매우 빠름, 빠름 ( > 12.0)	다소빠름 (12.0 ~ 6.0)	다소느림, 느림 (6.0 ~ 0.5)	느림, 매우느림 ( < 0.5)
투수저해토층의 유무 및 출현깊이(cm)	존재하지 않음	100 ~ 50	50 ~ 25	25이하
수문학적 토양군	A	B	C	D

Table. II-8 The rate of hydrologic soil group

하 천 명	분류	면 적(km <sup>2</sup> )	비 율(%)	비 고
회 수 천	A	1.20	26.17	
	B	1.61	35.17	
	C	1.77	38.66	
	D	0.00	0.00	
	합계	4.58	100.00	
대포천	A	0.72	19.25	
	B	0.00	0.00	
	C	1.67	44.54	
	D	1.36	36.21	
	합계	3.76	100.00	
동회수천	A	1.43	29.59	
	B	1.19	24.53	
	C	1.88	38.91	
	D	0.34	6.97	
	합계	4.83	100.00	
이천장물	A	0.00	0.00	
	B	0.00	0.00	
	C	0.51	24.42	
	D	1.59	75.58	
	합계	2.10	100.00	
골 세	A	0.00	0.00	
	B	0.00	0.00	
	C	0.07	3.91	
	D	1.72	96.09	
	합계	1.79	100.00	

4) 토지의 자연현황

대상 하천 유역의 대부분은 산지와 과수원으로 형성되어 있으며 하천별 토지이용현황은 Table. II-9 및 Fig. II-8~12와 같다.

Table. II-9 Status of land use

(unit : km<sup>2</sup>)

하천명	유역면적	과수원	기타	밭	산림지	시설용지	주거지	초지
회수천	4.58	1.13	0.13	0.10	2.55	0.10	0.07	0.50
대포천	3.76	1.81	0.11	0.19	1.42	0.05	0.10	0.08
동회수천	4.83	1.56	0.11	0.16	2.03	0.13	0.01	0.83
이천장물	2.10	1.76	0.04	0.26	0.02	0.01	0.00	0.01
골세	1.79	1.11	0.07	0.36	0.00	0.00	0.25	0.00

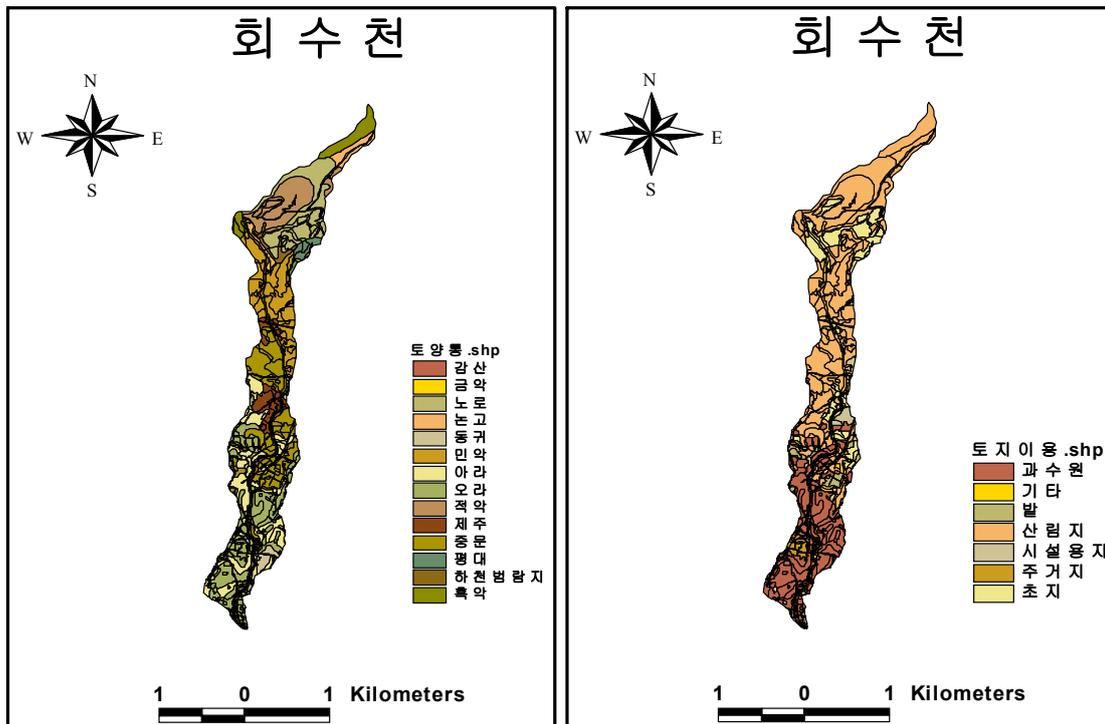


Fig. II-8 Analysis map of soil type and land use in Hoesu stream

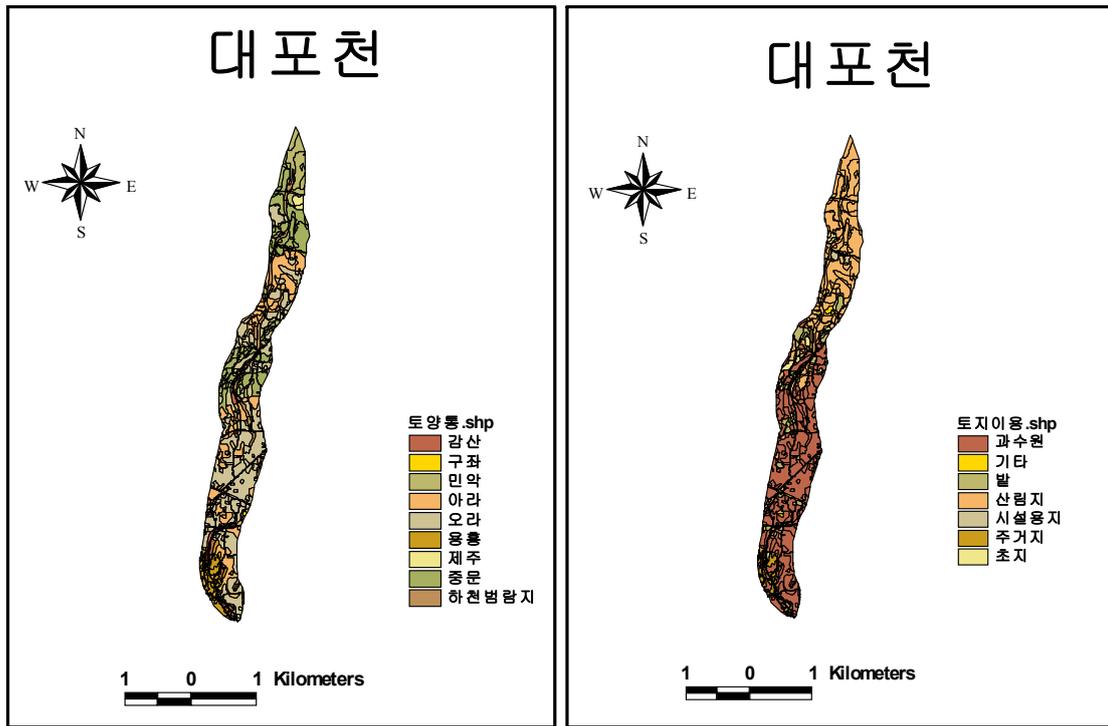


Fig. II-9 Analysis map of soil type and land use in Daepo stream

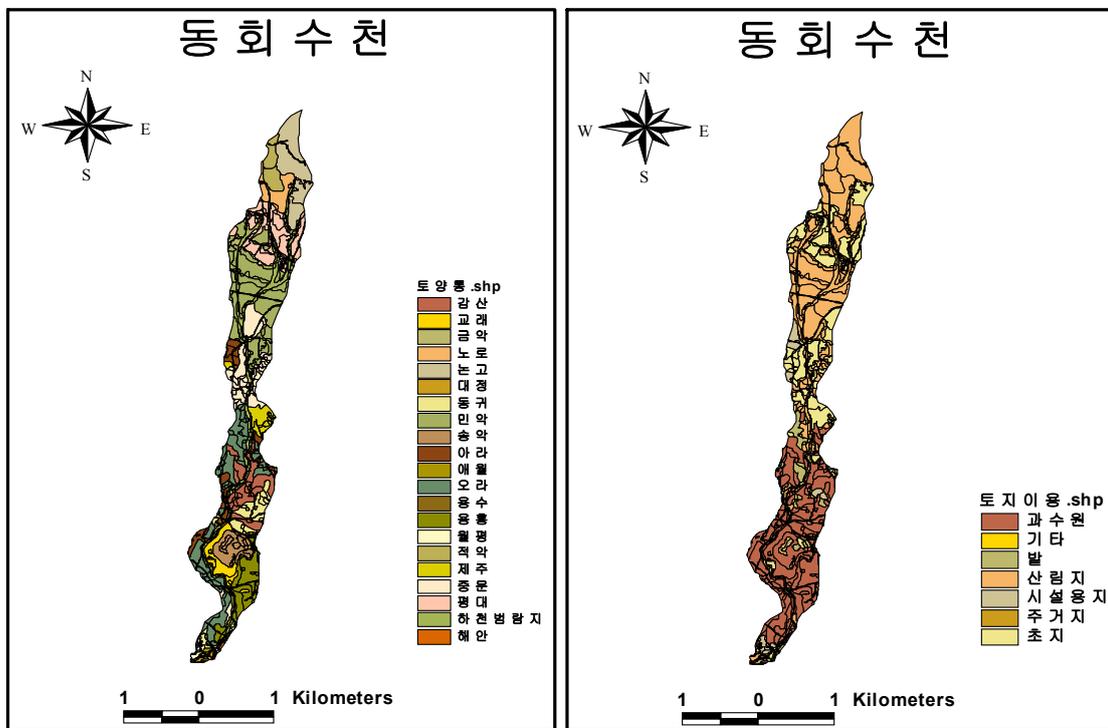


Fig. II-10 Analysis map of soil type and land use in Donghoesu stream

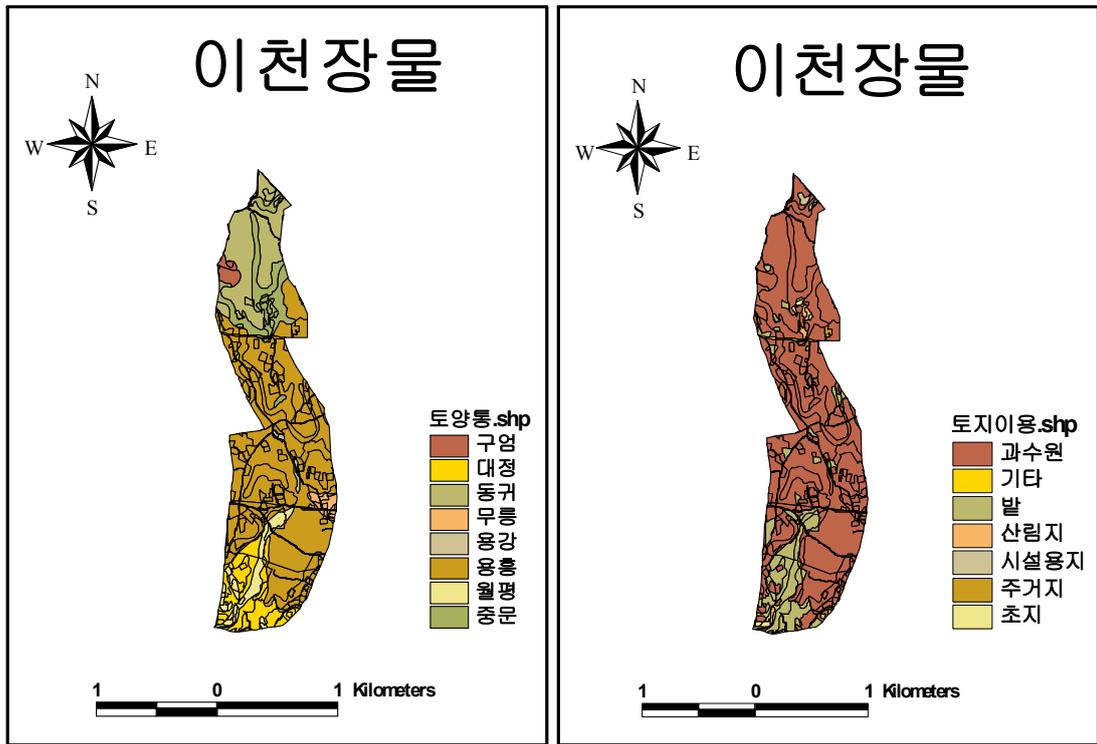


Fig. II-11 Analysis map of soil type and land use in Icheonjangmul

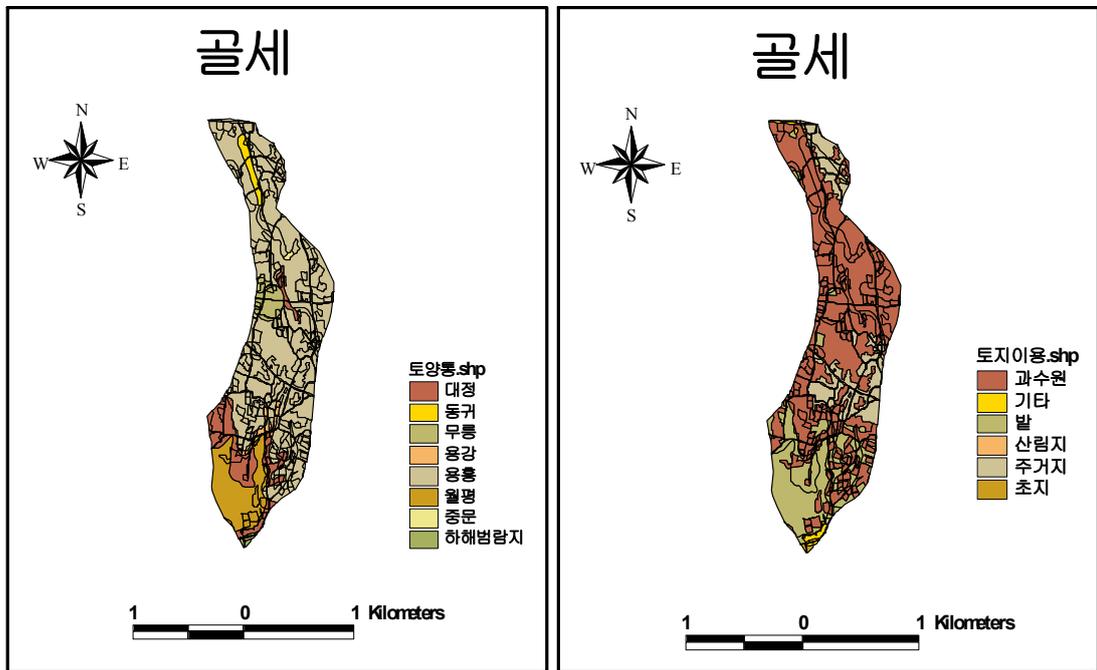


Fig. II-12 Analysis map of soil type and land use in Golse

5) 토지의 이용현황

대상지역이 속한 서귀포시의 면적은 870.68km<sup>2</sup> 이며, 이 중 임야 50.5%, 전 17.96 %, 도로 3.86% 등으로 구성되어 있는 것으로 조사되었고, Table. II-10은 회수천, 대포천, 동회수천, 이천장물, 골세의 주변지역 지목별 토지이용현황을 조사한 것이다.

Table. II-10 Status of land use located around

구 분	회수동		대포동		하원동		대천동	
	면적(m <sup>2</sup> )	구성비(%)						
전	575,906	14.36	1,310,245	15.46	1,313,067	7.16	7,030,562	13.91
임 야	1,940,213	48.37	2,988,279	35.25	13,550,940	73.92	31,547,656	62.42
대 지	162,670	4.06	282,848	3.34	186,777	1.02	886,278	1.75
도 로	176,857	4.41	420,821	4.96	337,777	1.84	1,172,322	2.32
하 천	152,781	3.81	280,243	3.31	500,385	2.73	1,859,062	3.68
유 지	0	0.00	13	0.00	509	0.00	463	0.00
과수원	915,789	22.83	1,497,634	17.67	1,168,756	6.38	5,065,136	10.02
목장용지	26,361	0.66	1,352,157	15.95	661,998	3.61	1,082,883	2.14
묘 지	38,158	0.95	94,214	1.11	61,392	0.33	186,004	0.37
잡종지	18,312	0.46	43,680	0.52	24,816	0.14	33,742	0.07
기 타	3,888	0.10	206,389	2.43	1,707,825	9.32	1,675,818	3.32
합 계	4,010,935	100	8,476,523	100	18,332,242	100	50,539,926	100

자료 : 서귀포시 통계연보(2008)

### 1.3 하도의 현황

하도란 하천의 구성요소로 물과 토사를 소통시키는 제방을 포함한 수로를 의미하며 근본적으로 수로를 통하여 배제되는 유량의 시·공간적인 변화와 하상구성, 토사 및 유역으로부터 유입되는 유사의 운송특성에 의하여 규정된다. 즉, 수로의 평면적인 형상, 저수로, 홍수터 등과 같은 수로의 형상은 물과 토사의 상호작용에 의한 결과라 할 수 있다. 하도의 주된 기능은 유역에 내린 강우 유출량을 안전하게 배제시키는 것이며, 유역으로부터 토사 등을 유출시키는 통로가 되는 것이다.

하도의 종류에는 하도망 구성여부에 따라 단일하도와 복합하도로 구분되며 하도형성의 인위성 여부에 따라 자연하도와 인공하도로 구분된다. 단일하도는 수로의 합류점은 있으나 분류점이 없는 하도 계통을 말하고, 복합하도는 이들이 동일 하도 계통에 수로의 합류점과 분류점이 공존하는 하도 계통을 의미한다. 대부분의 하도는 단일하도로 되어 있으나 삼각주가 형성된 하구나 폭이 넓은 대규모 하천에서 섬이 있는 경우 또는 평야지역을 관류하는 하천에서는 복합하도가 많다.

제주도의 하천은 대부분 합류점만 존재하는 단일하도로서 수로의 형태가 인위적인 요인에 의해 강제되지 않은 자연하도로 구성되어 있다. 자연하도 중 흐름에 의하여 운송 가능한 비점성 토사로 이루어진 충적하도의 경우 유로의 평면적 형상에 따라 사행하도와 직선하도로 구분할 수 있다. 대부분의 하도는 사행하도이나 하도를 짧은 구간으로 나누어 보면 사행하도의 흐름을 무시할 수 있으므로 직선하도로 볼 수 있다.

하도경사의 완급은 흐름특성을 좌우하는 중요한 요인이 되므로 하도경사에 따라서 급경사 하도와 완경사 하도로 구분한다. 대부분의 자연하도 형태는 제방에 의하여 제한을 받고 있으며 하천개발에 의하여 하도의 단면형상 및 하도경사 등이 인위적으로 조절되고 있으므로 인공적 자연하도라고 보는 것이 타당하다. 인공하도는 지반을 굴착하여 만들어지는 경우가 대부분이며 이러한 예로는 주운을 목적으로 한 운하, 홍수시 홍수량 배제를 위한 배수로 또는 관개배수로 등이 있다.

이상과 같은 하도는 유량, 하도경사, 유사량, 하상과 제방의 유수에 대한 저항, 지형 및 지질 그리고 인간의 각종 활동 등에 따라 그 특성이 달라진다. 이

들 인자는 상호간에 관계를 맺으면서 어떤 하도의 특성을 규정짓게 되고 각 인자의 중요도에 따라 하도의 물리적 특성을 달리하게 된다. 유수는 중력의 법칙에 의해서 최단거리, 최급경사(최급유속)를 선정하여 두 점간의 직선유로를 이루고자 하는 경향이 있다. 그러나 실제의 하천은 직선류를 이루는 일이 적고 완만한 사행 유로를 형성하는데 이는 지반의 불균질, 돌기한 암반, 수중 장애물 등과 아래와 같은 요인들에 의해 만곡이 시작되면 凹부에서는 원심력에 의해 하안이 침식되고 凸부에서는 유속이 감소하여 토사의 퇴적현상을 일으켜 곡선유로로 변하게 된다. 이러한 유수의 특성에 따라 하천은 산지 유형을 따라 사행유로를 형성하고 평지지대에서는 대부분 직선수로를 형성하거나 일부구간에서만 만곡을 이루고 있다.

연구대상 하천 유로의 만곡부 현황을 살펴보면 유역의 지형적특성이 하천 유로에도 영향을 주어 하천은 유역을 관류하는 동안 유역내 산기슭을 따라 수많은 만곡을 이루고 있는 것으로 나타났으며 하천 유로를 크게 사행시키는 만곡부 조사결과 회수천에서 61개, 동회수천에서 27개 지점이 만곡을 이루고 있는 것으로 조사되었다.

하상의 종단형을 나타내는 가장 대표적인 인자인 하천의 종단경사는 홍수의 도달시간, 하도의 세굴, 퇴적, 유속, 하상변동 등의 요소에 직접적인 요인으로 작용한다.

일반적으로 하천은 상류에서 하류로 감에 따라 그 종단경사가 줄어들고 하천의 종단경사는 한 지점의 하상고가 하류 하천 거리에 따라 떨어지는 비율로서 하천경사 또는 하상경사라 한다. 다만 자연하천의 하상은 그 단면형이 불규칙하기 때문에 최심하상고를 기준으로 하는 최심하상경사와 단면의 평균하상고를 기준으로 하는 평균하상경사로 구분한다. 연구대상 하천의 주요 지점별 최심하상경사의 산정치는 전술한 Table. II-6과 같다.

하도의 횡단형은 최량수리단면으로 제형단면의 설계를 원칙으로 복단면 또는 복복단면으로 하는 것이 바람직하다. 계획홍수량이 적은 하천에서는 안정하상 유지 및 하천환경을 보전하고 유지하는 입장에서 호안이나 하상유지공 등과 같은 하천시설물에 의해 하상이나 단면형상이 변화될 수 있다는 점을 고려하여 단면형의 결정은 저수시 하도관리와 홍수시 제방의 안정성 등을 종합적으로 고려

하여야 한다.

동회수천은 양안 또는 편안이 돌쌓기 형태의 기성제로 정비되어 있고 제방 배후지는 민가와 굴 제배지가 위치하고 있으며, 회수천의 횡단형은 대부분의 유로가 산지 계곡을 따라 형성된 산지하천이다. 일부구간에서 양안 또는 편안이 기성제로 정비되어 있고 제방 배후지로 농경지가 위치하고 있으며, 인위적인 복단면하도는 없는 것으로 조사되었다. 연구대상 하천의 대표적인 횡단형은 다음 Fig. II-13과 같다.

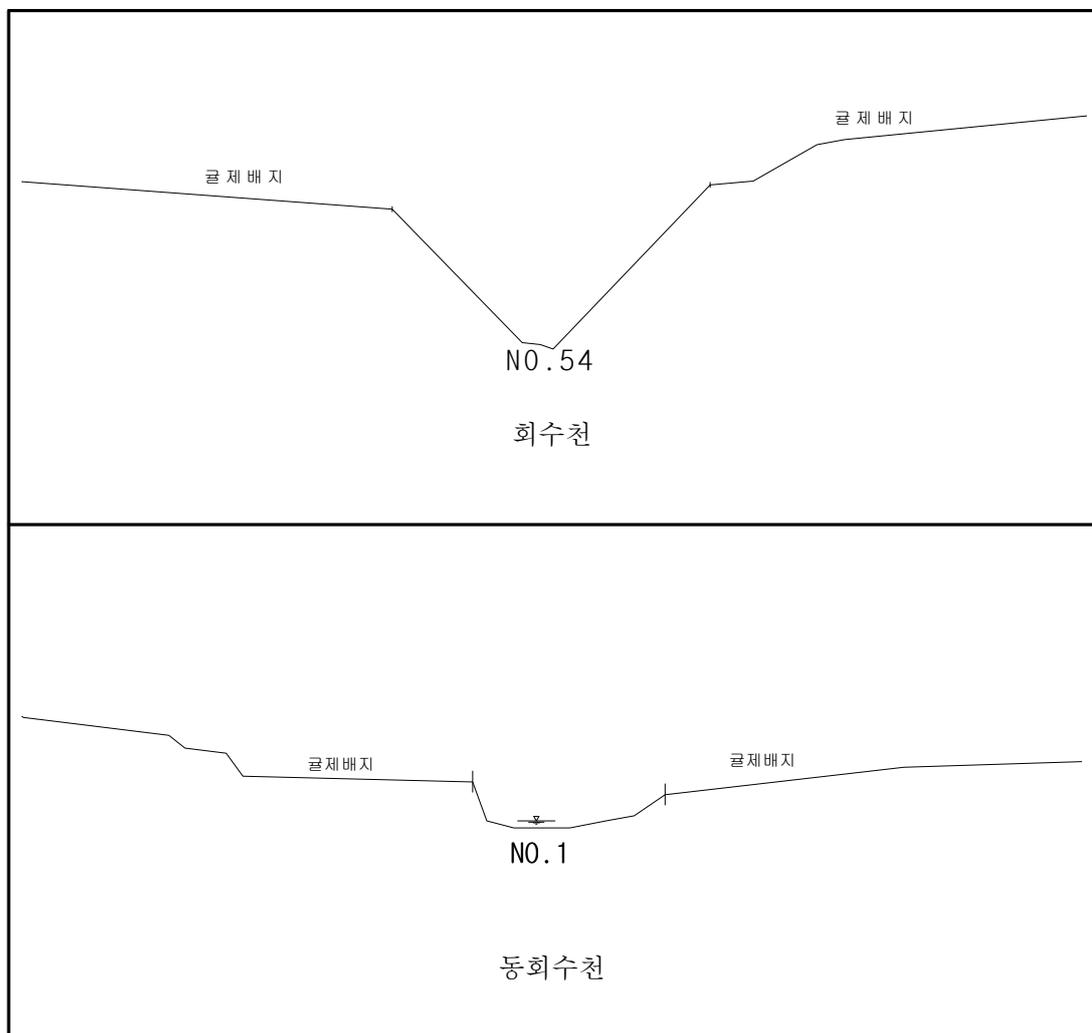


Fig. II-13 Typical cross-section

## 2. 유역의 수문기상 현황

### 2.1 수문조사

#### 1) 하천현황

제주도 하천의 한국하천일람(건설교통부, 2005.12) 자료에 의하면 전국 지방하천의 개수율은 80.1%로 조사되었으며, 제주도는 63.8%로 전국평균보다 낮은 개수율을 보이고 있다. 연구대상지역이 속한 서귀포시의 경우에는 67.9%로 전국의 평균개수율에 미치지 못하며, 완전개수 구간은 65.99km로 조사되었다(Table. II-11, Fig. II-14).

Table. II-11 Construction of river maintenance in Jeju island

구 분	요개수 (km)	기 개 수 (km)			개수율 (%)	미개수 (km)	비 고
		계	완전개수	불완전개수			
전 국	36,362.46	29,143.20	22,942.79	6,200.41	80.1	7,219.26	
제주도	316.72	201.97	139.19	62.78	63.8	114.75	
서귀포시	105.96	71.94	65.99	5.95	67.9	34.02	
제주시	210.76	130.03	73.20	56.83	61.7	80.73	

자료 : 한국하천일람(건설교통부, 2005.12)

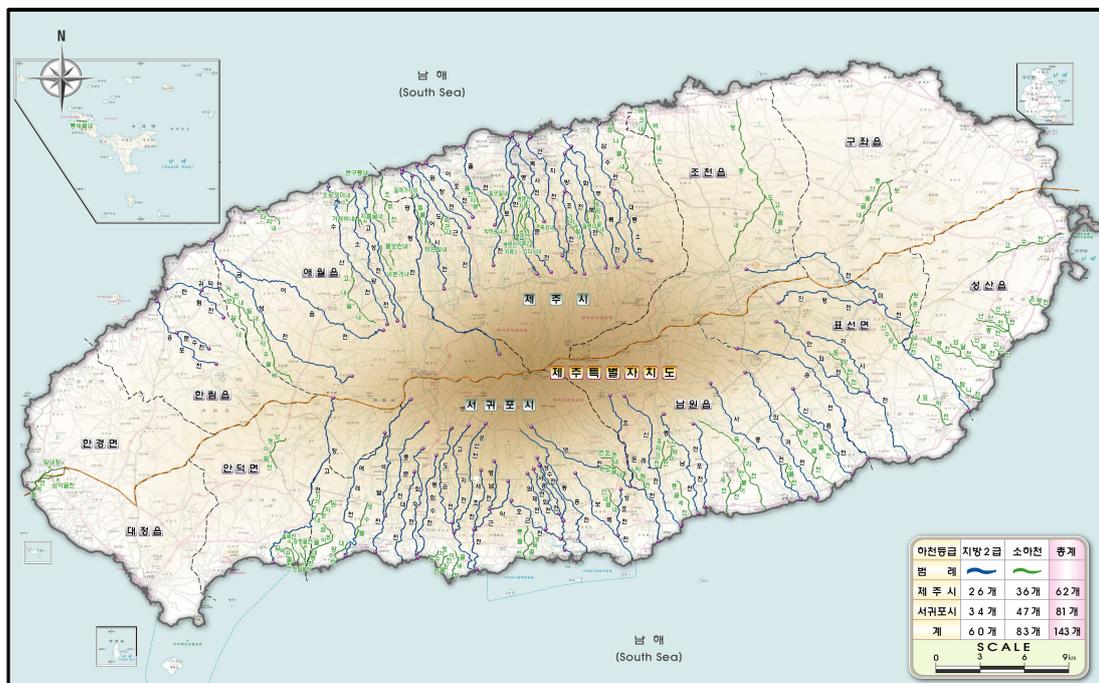


Fig. II-14 Stream drainage System in Jeju island

2) 수문관측 현황

(1) 기상관측소

한반도의 남단에서 약 90km 떨어져 있는 곳에 위치한 제주도는 난대성 해양기후를 가지며 사계절의 변화가 뚜렷한 계절적 특성을 나타낸다. 동지나해의 북단에 위치하여 바람이 많고 일기의 변화가 심하나 우리나라에서는 연교차가 가장 작은 온화한 기후를 보이고 있다.

연구대상지는 제주기상청관할 서귀포기상대 인근에 위치하며, 기상관측소현황은 다음 Table. II-12와 같다.

Table. II-12 Status and location of meteorological post

관측소	위 치			해발고 (EL.m)	관측기간 (년)
	지 명	경 도	위 도		
제주	제주도 제주시 건입동1123-13	126° 32′	33° 31′	20.0	1923. 5. 1
고산	제주도 제주시 한경면 고산리 3762	126° 10′	33° 17′	71.2	1988. 1. 1
서귀포	제주도 서귀포시 서귀동 538	126° 34′	33° 14′	50.5	1961. 1. 1
성산포	제주도 서귀포시 성산읍 신산리 685-4	126° 53′	33° 23′	18.6	1971. 1. 1

(2) 우량 관측소

제주도내에 설치·운영되고 있는 강우관측소는 제주기상청 관할 4개 기상대(제주·서귀포·성산·고산)를 비롯하여 제주기상청에서 운영하는 자동기상관측시스템(AWS) 16개소, 제주도 소방방재본부의 48개소, 제주공항 기상관측소, 기타 관측소(대항항공비행훈련원, 제주도 지방개발공사, 시·군 농업기술센터, 제주도 농원기술원 농산물원종장) 등이 있다.

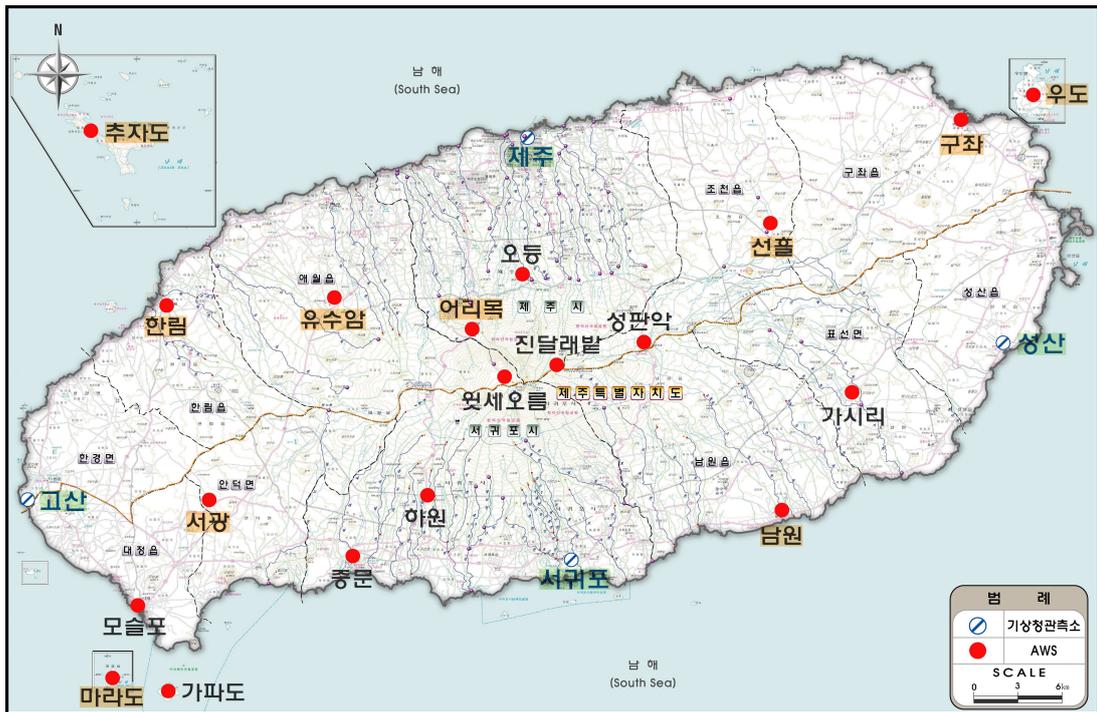


Fig. II-15 Rainfall observatory in Jeju island

### 3) 기상현황 조사

제주도는 한반도의 최남단에 위치하며 수리적으로 북위 33°10' ~ 33°34', 동경 126°10' ~ 127°에 해당된다. 지리적으로는 목포에서 약 145km(91마일), 부산에서 약 268km(168마일) 떨어진 섬으로 일반적인 기후분류상 아열대기후대에서 온대기후대로의 전이지대에 위치하고 있다. 태양고도가 연중 높아 태양의 순복사량이 에너지 수지상 과잉이 시작되는 경계이며 여름에는 태양의 북상으로 열대기단의 영향권에 들기도 한다.

주위의 해류분포를 보면 지구에서 가장 넓은 태평양의 가장자리인 북서태평양에 속해 있지만 아시아 대륙에서 멀리 떨어져 있어 다습한 해양의 영향을 받고 있다. 일년내내 남서쪽에서 흘러드는 따뜻한 적도해류의 지류인 쿠로시아 난류의 영향을 받고 있으며 북쪽에서 흘러오는 북한해류나 황해의 한류 영향은 받지 않고 있다. 제주도 주변 해상의 해수면 온도는 위도권에 거의 평행하여 남쪽으로 갈수록 높아지는 경향이며 계절과 함께 변하는 양상을 보인다. 제주도 북쪽해상(남해안까지)의 온도는 2~3월에 8~14℃, 8~9월에 24~26℃로 교차가 크며 남쪽해상(33°N 부근까지)의 온도는 낮을 때 15~16℃, 높을 때 27~28℃의 분포를

가진다(자료: 1966~1995, 국립수산진흥원).

위와 같은 지리적, 기후학적 원인으로 주로 난기단인 해양성 열대기단과 대륙성 열대기단의 영향을 받고 있으며 겨울철에도 북서쪽 대륙성기단의 직접적인 영향보다는 해양을 지나면서 약화·변질된 찬기단의 영향을 받고 있다. 봄과 가을에는 주기적으로 화남지방에서 이동해 오는 기압골과 이동성고기압의 영향을 받는 경우가 많으며 위치상 남서몬순의 영향을 제일 먼저 받는 곳으로서 장마와 북상하는 태풍의 길목에 있기도 하다.

연구대상지 인근에 제주기상청관할 서귀포기상청이 위치하고 있으며, 자료의 신뢰성 확보를 위해 10개년치의 서귀포 기상자료를 이용하여 Table. II-13~14, Fig. II-16과 같이 기상현황을 나타내었다.

Table. II-13 Weather data by year of seoguipo meteorological post

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	평균	
기온 (°C)	평균	16.59	17.18	17.38	17.28	17.41	17.81	16.21	17.10	17.39	16.92	17.13
	최고	31.40	33.80	34.20	34.00	33.60	35.60	31.70	33.80	33.70	33.50	33.53
	최저	-1.40	-1.60	-3.00	1.20	-2.40	-3.30	-2.90	-1.50	-0.30	-1.10	-1.63
강우량 (mm)	2,971	1,369	1,782	1,877	2,280	2,018	1,391	1,758	2,167	1,661	1,927	
풍속 (m/s)	평균	3.0	2.9	3.3	3.3	3.2	3.0	3.0	2.8	2.8	2.4	2.97
	최대 풍속	24.0	16.1	11.8	20.8	16.0	16.7	13.6	16.5	16.7	6.7	15.89
	방향	SSE	SE	SSW	NNE	NNW	SSE	SSW	SW	ESE	ESE	-
상대습도 (%)	69	67	66	67	69	65	66	67	66	69	67.3	
일조시간 (hr)	1931.5	1999	1971.4	2009.5	1950.5	2289	2150	2043.4	2063.4	1985	2039.4	
천기 일수 (일)	맑음	75	67	28	48	47	95	43	66	72	49	59.00
	흐림	120	102	113	136	134	110	104	114	103	96	113.2
	안개	6	14	10	31	35	29	15	29	26	20	21.50
	서리	0	0	9	1	5	1	3	4	2	1	2.60
	결빙	19	20	24	12	24	16	38	15	7	15	19.00
	눈	13	6	14	11	12	13	20	8	6	6	10.90

자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)

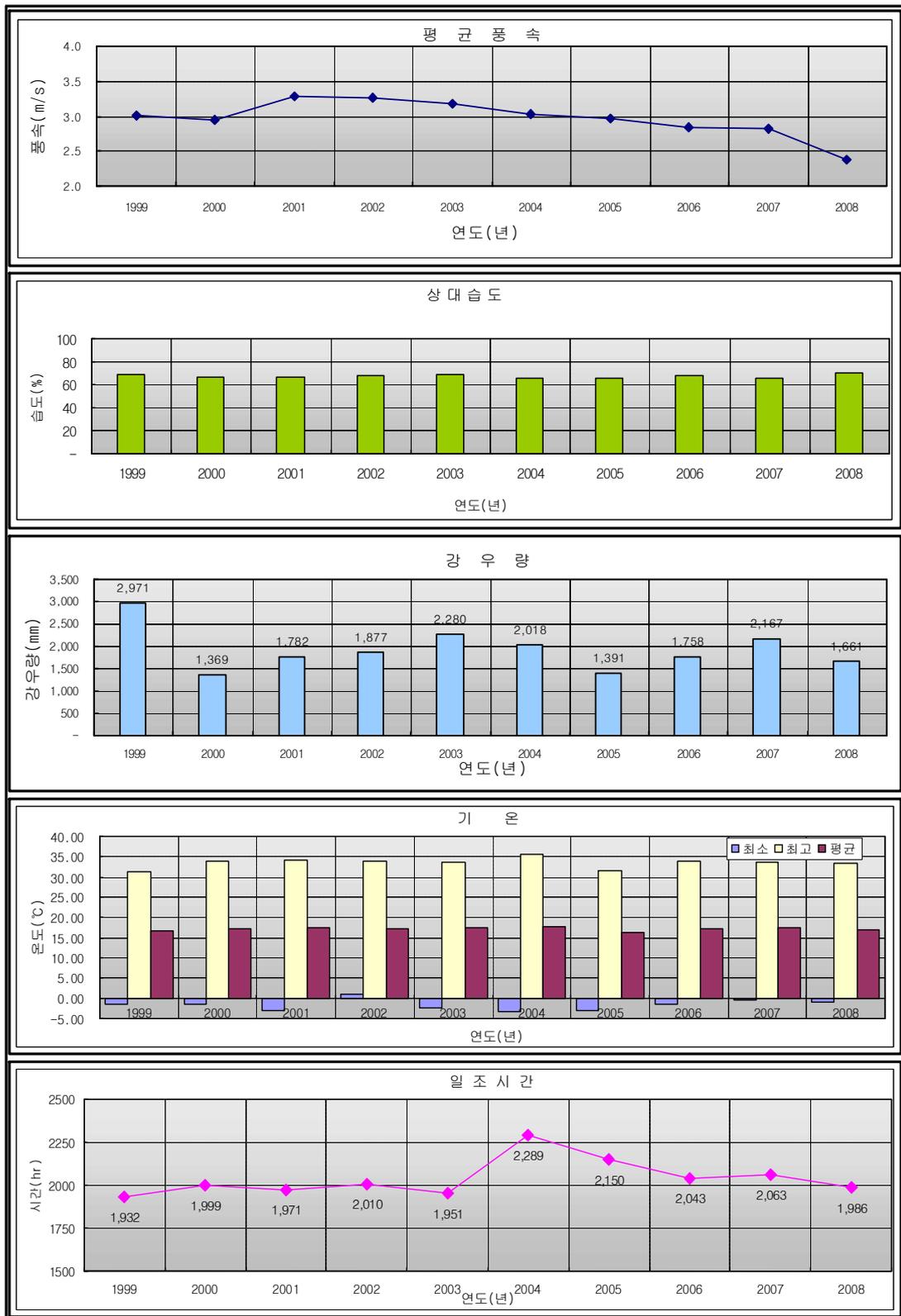


Fig. II-16 Distribution of Yearly weather

Table. II-14 Weather data by month of seoguipo meteorological post

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균	
기 온 (°C)	평균	7.52	8.24	11.22	15.38	18.85	22.13	25.91	27.49	24.52	20.09	14.55	9.63	17.23
	최고	20.7	19.7	23.8	25	29.4	31.5	34	35.6	33.6	30.7	28	20.8	27.73
	최저	-3.3	-2.4	-2.7	5	10.9	14.6	18.9	19	14.9	9	2.9	-2.9	6.99
강우량 (mm)	79.9	57.1	74.9	62.0	118.4	159.3	273.3	281.1	304.8	69.5	59.4	59	1,927	
풍 속 (m/s)	평균	4.1	3.8	3.7	3.3	2.8	2.7	2.8	2.8	3.0	2.9	3.3	4.0	3.26
	최대 풍속	16.3	17.0	19.5	16.7	14.0	15.7	19.6	22.3	39.5	11.4	12.5	19.5	18.7
상대습도 (%)	62	59	59	62	70	78	84	78	73	62	61	60	67.12	
일조시간 (hr)	149.23	163.67	189.89	187.43	183.76	135.53	137.17	182.57	166.31	209.81	172.78	156.83	2,084.9	

자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)

기온은 평균, 최고, 최저로 구분하여 분석하였으며, 분석기간(1999~2008)내의 서귀포 관측소의 평균기온은 17.23°C 이고, 최고기온은 35.6°C 최저기온은 -3.3°C 이다.

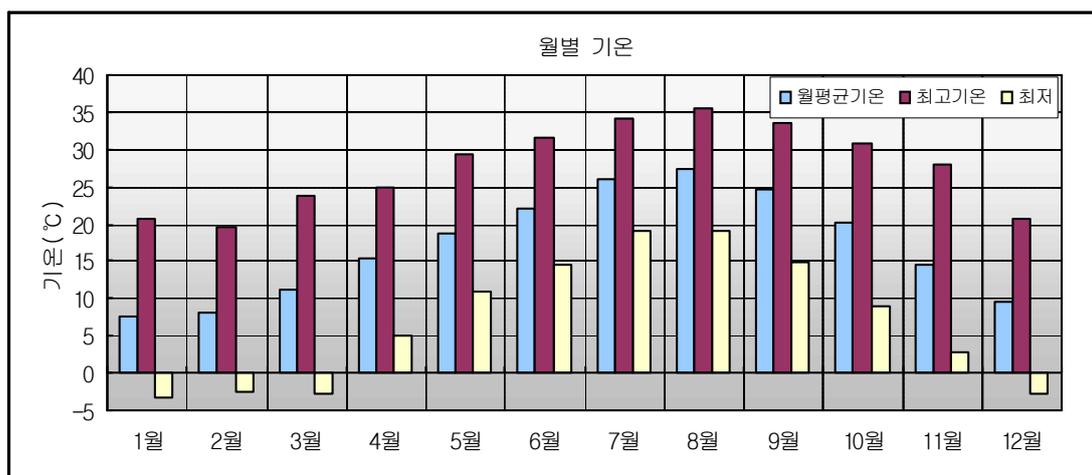


Fig. II-17 Distribution of monthly temperature

10년간 연평균 강우량은 1,927.3mm이며, 최저는 2000년 1,369mm이며, 최고는 1999년 2,971mm로 나타났다. 월평균 강우량은 Table. II-15, Fig. II-18과 같이 최대는 8월 323.9mm이고, 최소는 12월 44.5mm이었으며, 하기인 6~8월(장마철)의 강우량은 713.2mm로 전체강수의 약 44.64%를 차지하고 있다.

Table. II-15 Rainfall data by month of seoguipo meteorological post

연도 (년)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1999	111.4	33.2	141.5	87.6	292.0	295.8	918.2	666.3	316.9	57.1	39.4	11.1	2970.5
2000	76.1	15.1	71.9	60.7	162.0	167.1	135.4	244.3	188.2	146.6	93.9	7.2	1368.5
2001	150.7	90.2	12.1	203.0	162.5	271.8	273.2	240.8	74.4	167.8	54.1	81.5	1782.1
2002	38.2	52.3	101.1	157.5	194.5	97.1	369.3	421.0	134.6	182.8	31.1	97.7	1877.2
2003	86.4	69.5	113.2	225.0	392.0	377.0	325.8	310.6	223.3	36.0	109.5	11.8	2280.1
2004	15.6	97.1	87.0	257.6	420.7	180.4	52.9	420.5	325.5	35.7	81.1	43.9	2018.0
2005	32.8	104.9	194.6	135.5	137.7	96.3	194.7	243.5	17.0	53.3	137.0	43.3	1390.6
2006	83.7	56.2	54.2	282.8	178.7	292.0	311.3	183.0	162.2	60.0	72.4	21.1	1757.6
2007	65.7	44.6	96.4	81.0	154.0	144.4	464.2	330.0	506.1	183.0	0.2	96.9	2166.5
2008	63	26.1	123.6	97.5	209.9	377.3	62.1	178.5	343.2	82.3	67.3	30.6	1661.4
월평균	72.36	58.92	99.56	158.82	230.40	229.92	310.71	323.85	229.14	100.46	68.60	44.51	1927.3

자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)



Fig. II-18 Distribution of Monthly rainfall

분석된 최근 10년 내의 최대풍속은 1999년에 발생한 풍속 24 m/sec이고, 연평균 풍속은 2.9 m/sec이다. 본 대상지역의 연평균 풍속은 2.97m/sec로서 월평균 최고풍속은 3.26m/sec로 나타났다. 대상지역의 주풍방향은 남서풍과 북동풍 계열이며, 계절별로 봄에는 균일한 분포를 보이거나 북서풍이 약간 우세하게 나타나고 있으며, 여름에는 남서풍과 서풍이 높게 나타나고 있고, 가을과 겨울에는 북풍 및 북서풍의 북풍계열이 우세하게 있는 것으로 조사되었다.

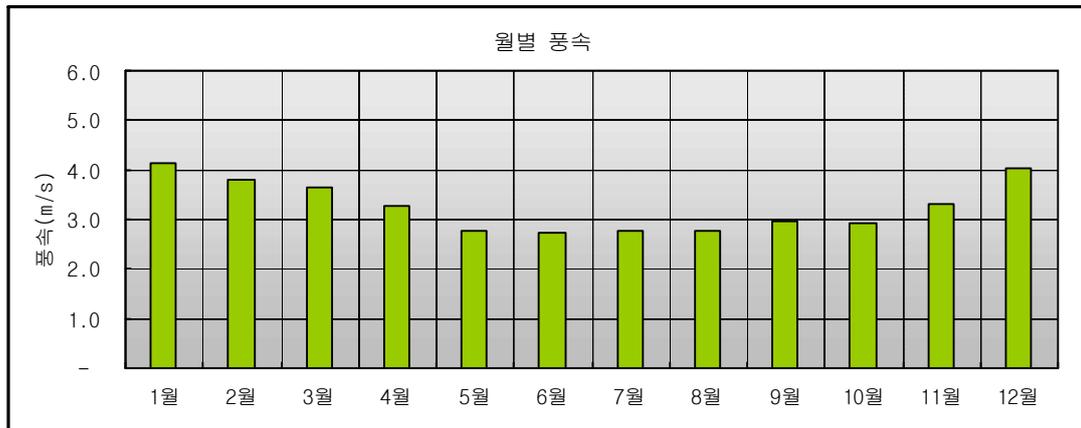


Fig. II-19 Distribution of monthly wind speed

서귀포관측소의 연평균 상대습도는 67.27%이며, 다습기인 여름철(7월)에 84%로 가장 높으며, 건조기인 겨울철과 초봄에(12~3월)에는 59~60%로 낮은 분포를 보이고 있어 상대습도의 차가 큰 것으로 조사되었다.

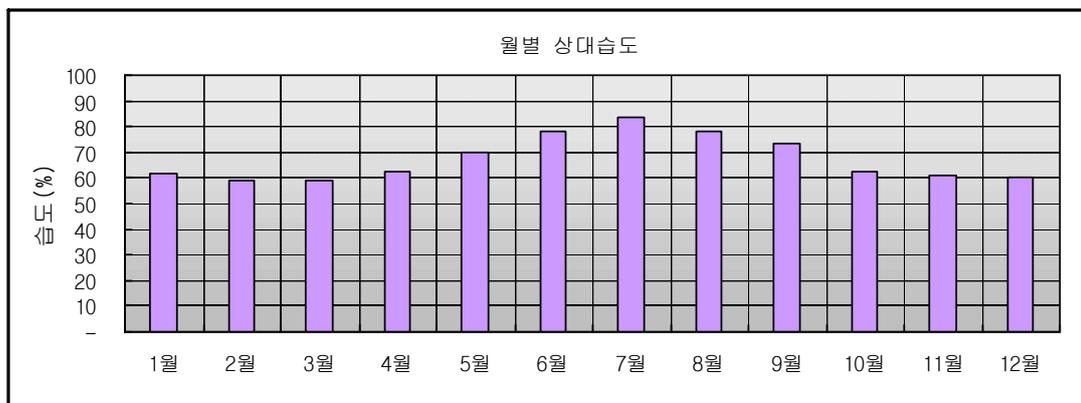


Fig. II-20 Distribute of monthly relative humidity

### Ⅲ. 확률강우량 및 유효강우량 산정

#### 1. 강우량 분석

##### 1.1 우량관측소의 선정

홍수유출해석에 필요한 강우량 분석을 위해 서귀포 관측소의 자료를 이용하여 수문분석을 실시하였다. 서귀포관측소의 관측개시년도는 1961년이며, 이 중 자료 확보가 가능한 35개년(1974년~2008년) 기간의 시우량 자료를 이용하여 강우분석을 시행하였다.

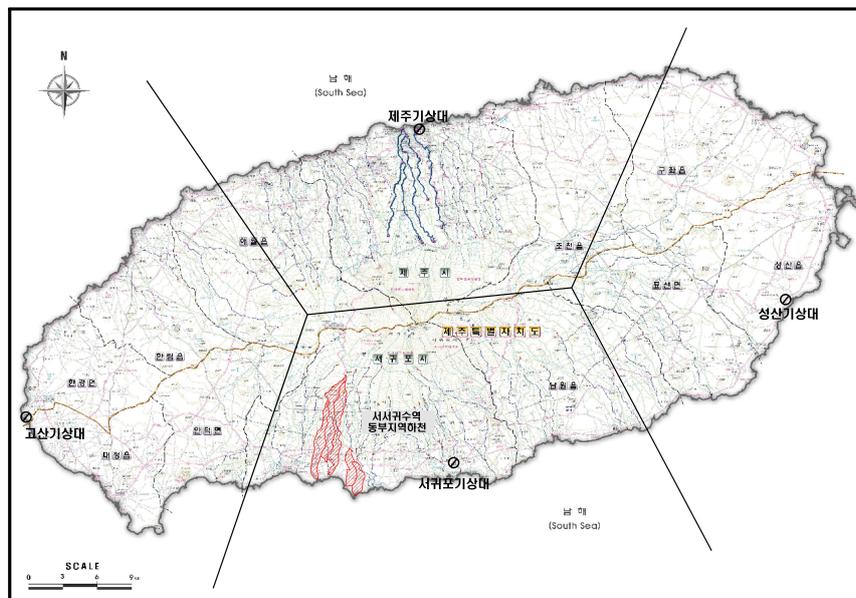


Fig. III-1 Rainfall observatory and theissen polygon

##### 1.2 강우자료 수집 및 분석

###### 1) 지속시간별 고정시간 강우량 자료의 수집

수문분석에 필요한 강우량자료는 임의시간 강우량자료를 직접 수집하여야 하나 현실적인 어려움이 많은 관계로 기상청 및 건설교통부에서 제공하는 연 최대치 강우량 자료를 10분, 60분 및 1시간~24시간(24개 지속시간)등의 지속시간별로

수집하여 「하천설계기준」 등에서 제시하고 있는 환산계수를 적용하여 임의시간 강우자료로 변환하는 방법이 주로 사용되고 있다. 이에 따라 연구대상 유역에 대한 연 최대치 강우량 자료는 서귀포관측소의 35개년(1974년~2008년)의 임의시간인 10분과 시우량자료(2시간~24시간)를 이용하였고, 이 중 7개의 지속시간별 자료를 Table. III-1과 같이 산정하였다.

Table. III-1 Annual maximum precipitation fixed duration at seoguipo meteorological post

지속시간 년도	10분	60분	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
1974	13.4	35.5	47.7	59.9	84.3	103.8	130.5
1975	15.6	44.3	63.0	80.5	95.6	111.8	111.8
1976	18.0	55.2	64.8	66.2	75.9	104.9	118.0
1977	10.5	34.0	49.5	61.5	75.9	106.7	127.1
1978	13.0	27.5	39.9	50.7	78.8	104.2	127.4
1979	16.0	47.0	76.0	105.2	171.0	263.8	336.2
1980	13.5	40.0	58.9	71.2	87.0	98.8	98.8
1981	22.0	46.7	60.8	66.9	80.1	111.4	153.6
1982	16.1	27.9	32.9	43.9	65.5	81.6	94.4
1983	25.9	47.9	51.6	59.4	72.7	95.6	150.7
1984	27.0	34.5	49.0	75.0	109.4	121.4	121.4
1985	18.6	60.6	107.4	148.9	184.0	207.2	282.6
1986	15.5	42.5	46.6	57.3	69.4	104.2	124.3
1987	16.7	54.0	93.0	107.5	132.6	152.7	218.0
1988	22.0	58.1	66.5	70.7	121.8	171.5	184.0
1989	20.0	59.7	60.0	67.6	85.8	107.5	140.9
1990	24.5	73.0	74.9	79.9	95.6	137.6	196.3
1991	16.5	45.0	68.5	91.5	120.0	129.6	177.6
1992	26.0	48.5	83.5	107.9	174.4	218.1	260.2
1993	15.7	40.0	51.3	61.6	101.1	142.2	179.8
1994	20.0	52.6	89.1	115.6	163.5	226.3	360.6
1995	21.0	92.5	123.4	154.1	227.0	327.8	372.4
1996	19.5	51.5	82.2	111.7	144.4	191.8	221.1
1997	17.0	40.2	43.5	60.6	88.7	138.2	164.1
1998	21.0	78.0	102.2	110.8	132.9	205.1	280.5
1999	20.0	48.0	74.0	88.4	153.6	200.0	260.8
2000	12.5	34.5	42.0	55.1	78.1	90.5	126.1
2001	16.0	34.0	47.0	56.1	80.6	107.8	157.7
2002	16.5	39.0	50.0	70.0	90.0	117.5	141.5
2003	20.0	42.5	64.5	85.5	122.5	173.0	210.5
2004	16.5	45.0	76.0	110.5	155.5	164.0	217.0
2005	14.5	30.0	37.5	42.5	58.0	72.5	75.0
2006	14.5	32.5	50.0	65.0	105.0	127.0	141.5
2007	22.0	55.5	85.5	113.5	164.0	264.5	266.0
2008	13.5	33.5	42.0	66.0	86.0	108.5	Z117.0

주 : 10분은 임의시간임

(단위 : mm)

2) 지속시간별 임의시간 강우량 자료 수집

앞서 언급한 바와 같이 수문분석에 필요한 자료는 임의시간에 대한 최대강우량이므로 「하천설계기준」 등에서 제시한 환산계수를 회귀분석하여 전 지속시간에 대해 회귀분석식을 산정하였고, 산정식은 다음과 같다.

$$Y = 0.1266537598X^{-1.316664723} + 1.002408998$$

여기서 Y는 환산계수, X는 강우지속시간(hr)이다.

이와 같이 산정된 회귀분석식을 이용하여 지속시간별 고정시간 최대강우량을 지속시간별 임의시간 최대강우량으로 변환하여 Table. III-3과 같이 산정하였다.

Table. III-2 Conversion factor between fixed and sliding durations

고정시간의 지속기간	임의의 지속기간	환산계수
1 시간	60분	1.129 (1.13)
3 시간	180분	1.033
6 시간	360분	1.013 (1.02)
24 시간	1440분	1.005 (1.01)
1일	1440분	1.161 (1.13)

주 : ( )는 미국 기상국(1958)의 제안 값

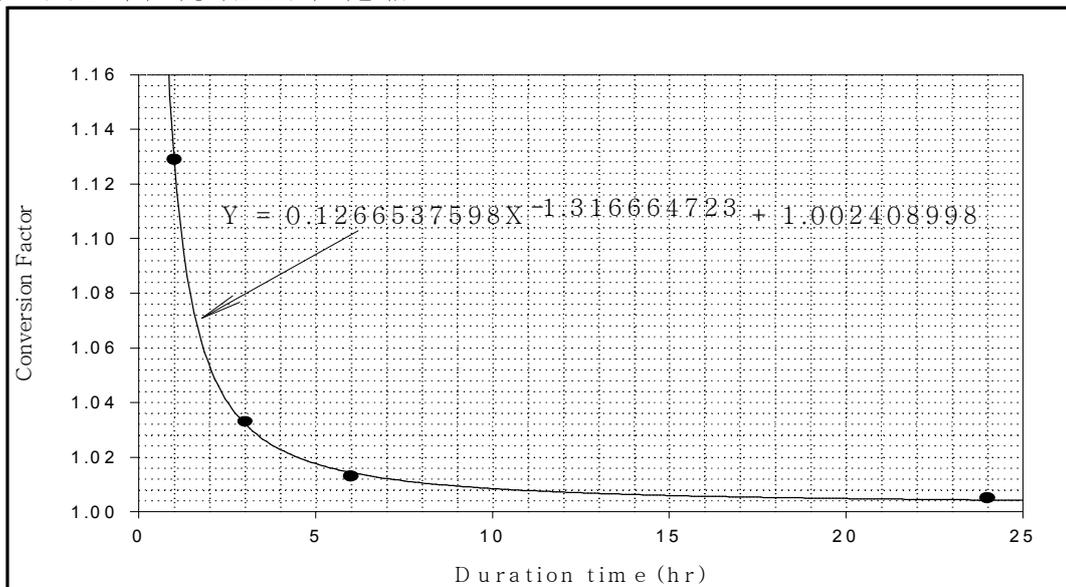


Fig. III-2 Regression curve of Conversion factor between fixed and sliding durations

Table. III-3 Annual maximum precipitation sliding duration at Seoguipo meteorological post

지속시간 년도	10분	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
1974	13.4	35.5	50.3	61.9	85.4	104.4	131.2
1975	15.6	44.3	66.5	83.2	96.9	112.5	112.5
1976	18.0	55.2	68.4	68.4	76.9	105.5	118.6
1977	10.5	34.0	52.2	63.5	76.9	107.4	127.7
1978	13.0	27.5	42.1	52.4	79.8	104.8	128.0
1979	16.0	47.0	80.2	108.7	173.2	265.4	337.9
1980	13.5	40.0	62.1	73.6	88.1	99.4	99.4
1981	22.0	46.7	64.2	69.1	81.2	112.1	154.4
1982	16.1	27.9	34.7	45.4	66.4	82.1	94.9
1983	25.9	47.9	54.4	61.4	73.7	96.2	151.5
1984	27.0	34.5	51.7	77.5	110.8	122.1	122.2
1985	18.6	60.6	113.3	153.8	186.4	208.5	284.0
1986	15.5	42.5	49.2	59.2	70.3	104.8	124.9
1987	16.7	54.0	98.1	111.1	134.3	153.6	219.1
1988	22.0	58.1	70.2	73.0	123.4	172.5	184.9
1989	20.0	59.7	63.3	69.8	86.9	108.2	141.6
1990	24.5	73.0	79.0	82.5	96.9	138.4	197.3
1991	16.5	45.0	72.3	94.5	121.6	130.4	178.5
1992	26.0	48.5	88.1	111.5	176.7	219.4	261.5
1993	15.7	40.0	54.1	63.6	102.4	143.1	180.7
1994	20.0	52.6	94.0	119.4	165.6	227.7	362.4
1995	21.0	92.5	130.2	159.2	230.0	329.8	374.3
1996	19.5	51.5	86.7	115.4	146.3	193.0	222.2
1997	17.0	40.2	45.9	62.6	89.9	139.0	164.9
1998	21.0	78.0	107.8	114.5	134.6	206.3	281.9
1999	20.0	48.0	78.1	91.3	155.6	201.2	262.1
2000	12.5	34.5	44.3	56.9	79.1	91.1	126.7
2001	16.0	34.0	49.6	58.0	81.7	108.5	158.5
2002	16.5	39.0	52.8	72.3	91.2	118.2	142.2
2003	20.0	42.5	68.1	88.3	124.1	174.0	211.6
2004	16.5	45.0	80.2	114.2	157.5	165.0	218.1
2005	14.5	30.0	39.6	43.9	58.8	72.9	75.4
2006	14.5	32.5	52.8	67.2	106.4	127.8	142.2
2007	22.0	55.5	90.2	117.3	166.1	266.1	267.3
2008	13.5	33.5	44.3	68.2	87.1	109.2	117.6

주 : 10분은 임의시간임

(단위 : mm)

### 3) 기본 통계치 산정

수문자료의 통계분석시 많이 사용되는 통계치로는 평균(Mean), 표준편차(Standard deviation), 변동계수(Coefficient of variance), 왜곡도계수(Coefficient of skewness) 등이 있고, 다음과 같이 정의된다.

· 평균

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

· 분산 및 변동계수

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

· 왜곡도 및 왜곡도계수

$$m_3 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3, C_s = \frac{m_3}{s^3}$$

여기서  $x_i$ ,  $n$ 은 각각 강우량자료 계열  $X$ 의 자료값 및 자료수이며,  $\bar{x}$ ,  $s^2$ ,  $m_3$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ 는 각각 강우량자료 계열  $X$ 의 평균, 분산, 왜곡도, 변동계수, 왜곡도계수이다. 서귀포관측소의 지속기간별 연 최대 강우자료에 대한 통계치분석 결과는 Table. III-4와 같다.

Table. III-4 Statistics of Annual maximum precipitation data

지속시간(min)	평균(mm)	표준편차(mm)	변동계수	왜곡도계수
10	18.0	4.1	0.227	0.493
60	46.6	14.2	0.305	1.310
120	68.0	22.7	0.334	0.857
180	83.8	28.7	0.343	0.962
360	113.8	41.4	0.364	0.934
720	149.1	60.1	0.403	1.229
1440	185.1	77.4	0.418	0.954

### 1.3 확률강우량 산정

강우현상은 기상, 지형적인 자연요소에 의해 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하거나 파악하기가 어려우며 수문학적으로 이용되는 강우의 해석은 과거 해당지점의 관측자료를 근거로 하는 통계학적인 기법이 대부분을 차지하고 있다.

설정된 재현기간에 해당하는 강우사상을 산정하기 위해서는 해당 지역의 강우사상을 대표할 수 있는 지점의 연 최대치 강우기록으로부터 지속기간별 매년 최대치 자료를 적출하는 작업이 선행되어야 한다. 또한 적출된 자료로부터 재현기간별 확률강우량을 산정하는 작업을 빈도해석이라 하며, 이를 위해서는 강우의 지속기간에 따른 적정 확률분포형을 선정하는 작업이 선행되어야 한다.

#### 1) 분석대상 재현기간의 선정

확률강우량 선정을 위한 재현기간 설정은 10, 20, 30, 50, 80, 100년 빈도의 총 6개 빈도를 설정하였다.

#### 2) 적용 확률분포형

통계학적으로 제시되고 있는 확률분포형은 매우 다양하나 강우량 분석에 적절하다고 알려진 대수정규 분포, Gamma 분포, Generalized Extreme Value (GEV) 분포, Gumbel 분포, Log-Gumbel 분포, Log-Normal 분포, Log-Pearson type II 분포, Weibull, Wakeby 분포 등을 적용하여 확률강우량을 산정하였다.

#### 3) 매개변수 추정방법의 선정

각 확률분포형의 모수추정은 모멘트법(method of moments), 최우도법(method of maximum likelihood) 및 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)을 사용하였으며, 관측된 수문자료군이 각 분포형 중 어느 분포형에 적합한가를 판단하기 위하여 적합도 검정( $\kappa^2$ 검정, Kolmogorov-Smirnov검정, Cramer Von Mises검정, PPCC검정)을 실시하였다. 이에 따라 적정 확률분포형을 결정하여 빈도해석을 실시하여 확률강우량을 산정하였고, 이를 이용하여 임의 지속기간에 대한 확률강우량을 산정하기 위하여 회귀분석에 의한 확률강우강도식을 유도하였다.

#### 4) 적정 확률분포형 결정

연구에서는 적합도 검정을 통해서 강우강도의 물리적 형상에 위배되지 않는 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)을 채택하였으며, 적

정 확률분포형 선정은  $\kappa^2$ 검정, Kolmogorov-Smirnov검정, Cramer Von Mises검정, PPCC검정 등의 검정결과를 종합적으로 판단하여 GUM 분포형을 선정하였다. 각 지속시간별 적정확률분포형은 다음 Table. III-5과 같다.

Table. III-5 Appropriate probability distributions at different rainfall duration

재현기간 (년)	강우지속시간별 확률강우량 (mm)								
	10분			60분			120분		
	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법
10	23.4	23.8	23.7	65.2	63.6	65.1	97.6	96.4	98.7
20	25.7	26.3	26.1	73.2	71.0	73.1	110.3	108.7	111.9
30	27.0	27.7	27.5	77.8	75.2	77.7	117.6	115.8	119.5
50	28.6	29.5	29.2	83.5	80.6	83.4	126.8	124.7	129.0
80	30.2	31.1	30.8	88.8	85.4	88.6	135.2	132.9	137.7
100	30.9	31.9	31.6	91.3	87.8	91.1	139.2	136.7	141.8
채택	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM
재현기간 (년)	180분			360분			720분		
	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법
	10	121.2	118.2	121.9	167.8	162.3	169.2	227.5	214.9
20	137.3	133.4	138.4	191.0	183.7	193.0	261.2	244.2	260.8
30	146.6	142.0	147.8	204.3	196.0	206.7	280.6	261.0	280.1
50	158.2	152.9	159.6	221.0	211.4	223.8	304.9	282.1	304.2
80	168.8	162.9	170.4	236.3	225.5	239.5	327.1	301.3	326.4
100	173.8	167.6	175.5	243.6	232.1	247.0	337.6	310.5	336.8
채택	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM
재현기간 (년)	1440분								
	모멘트법	최우도법	확률가중 모멘트법						
	10	286.1	276.6	288.5					
20	329.5	316.9	333.0						
30	354.5	340.0	358.6						
50	385.8	369.0	390.6						
80	414.4	395.5	419.9						
100	427.9	408.0	433.8						
채택	GUM	GUM	GUM						

5) 재현기간별 지속기간별 확률강우량 산정 및 적정성 검토

연구조사에서는 강우지속기간별 재현기간별로 ① 한국확률강우량도의 작성(2006. 6, 건교부), 대상지역 인근에서 사용된 ② 제주 롯데리조트 조성사업 재해영향평가(재협외) (2006. 2), ③ 금회 강우분석에 의한 확률강우량을 Table. III-6에서와 같이 비교·검토한 결과 2008까지의 자료보완이 이루어진 ③금회 강우분석에 의한 지속시간별 확률강우량을 채택하여 강우강도식 유도 및 첨두유량 산정에 이용하였다.

Table. III-6 Comparison of probability precipitation at different rainfall duration

재현기간 (년)	지속시간별 확률강우량(mm)								
	10분	60분	120분	180분*	360분	720분	1440분	채택	
10	①	23.4	64.9	90.3	130.9*	154.4	207.4	254.3	
	②	22.8	62.1	92.1	113.8	159.4	209.4	267.0	
	③	<b>23.7</b>	<b>65.1</b>	<b>98.7</b>	<b>121.9</b>	<b>169.2</b>	<b>227.2</b>	<b>288.5</b>	◎
20	①	26.3	73.2	102.2	148.0*	176.7	237.6	293.7	
	②	25.3	69.3	103.5	128.1	180.5	237.9	305.7	
	③	<b>26.1</b>	<b>73.1</b>	<b>111.9</b>	<b>138.4</b>	<b>193.0</b>	<b>260.8</b>	<b>333.0</b>	◎
30	①	28.0	78.1	109.1	157.8*	189.5	254.9	316.3	
	②	26.8	73.4	110.1	136.3	192.7	254.4	327.9	
	③	<b>27.5</b>	<b>77.7</b>	<b>119.5</b>	<b>147.8</b>	<b>206.7</b>	<b>280.1</b>	<b>358.6</b>	◎
50	①	30.0	84.1	117.7	170.1*	205.6	276.6	344.6	
	②	28.5	78.6	118.2	146.6	207.9	274.9	335.7	
	③	<b>29.2</b>	<b>83.4</b>	<b>129.0</b>	<b>159.6</b>	<b>223.8</b>	<b>304.2</b>	<b>390.6</b>	◎
80	①	31.9	89.6	125.6	181.3*	220.3	296.5	370.5	
	②	30.2	83.3	125.7	155.9	221.8	293.7	381.2	
	③	<b>30.8</b>	<b>88.6</b>	<b>137.7</b>	<b>170.4</b>	<b>239.5</b>	<b>326.4</b>	<b>419.9</b>	◎
100	①	32.8	92.2	129.3	186.7*	227.2	305.9	382.8	
	②	31.0	85.6	129.3	160.4	228.4	302.6	393.2	
	③	<b>31.6</b>	<b>91.1</b>	<b>141.8</b>	<b>175.5</b>	<b>247.0</b>	<b>336.8</b>	<b>433.8</b>	◎

주 : ① 한국확률강우량도의 작성(2006. 6, 건교부)

\* 표시의 지속시간은 최근 12개년 자료만으로 산정된 확률강우량으로서 사용상 주의를 요함

② 제주 롯데리조트 조성사업 재해영향평가(재협외) (2006. 2)

③ 금회산정

6) 표고별 보정 확률강우량 산정

강우분석에서 채택된 서귀포 우량관측소는 각각 EL.50.5에 위치하고 있다. 일반적으로 표고가 증가할수록 연평균강우량은 증가하는 경향을 나타내지만 연최대치 강우량은 직접적인 상관성을 나타내기 곤란하기 때문에 일반적으로는 표고보정을 실시하지 않고 있는 실정이다. 하지만, 제주도의 경우 기후 및 지형학

적 특성 등을 고려할 때 표고에 따른 변화가 크므로 이에 대한 보정을 검토하여야 한다.

기존 연구 자료인 『제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3차) 보고서, 제주도·한국수자원공사, 2003』를 살펴보면, 최근 10년간(1993~2002)의 강우자료를 토대로 제주도를 표고별로 200m 이하, 200m~600m, 600m 이상으로 구분하여 표고가 증가할수록 연평균강우량이 증가하는 경향을 Table. III-7과 같이 제시하였다.

Table. III-7 Annual areal rainfall at altitude

구 간	면적(km <sup>2</sup> )	면적비(%)	연평균면적강우량(mm)
제주 전체	1,823.3	100.0	1,975
EL.200m 이하	933.4	54.3	1,651
EL.200~600m 이하	589.0	32.2	2,184
EL.600m 이상	245.9	13.5	2,784

주 : 한라산 정상부의 강우량 자료가 없으므로 EL.600이상 고지대의 강우량은 과소 추정 가능성이 있음.

이후 제주관측소 및 서귀포관측소의 강우량자료에 제주도 농촌진흥원이 관리하는 7개 우량관측소의 강우량자료를 추가한 후, 한라산을 중심으로 북쪽에 위치한 제주관측소, 어승생, 월평, 제동목장 관측소를 1개 군으로 구분하고, 남쪽에 위치한 서귀포관측소, 1,100m 휴게소, 성산악, 광평, 금악 관측소를 1개 군으로 하였다.

본 연구에서는 서귀포 관측소의 표고별 강우량 변화를 분석하기 위하여 지역적으로 한라산을 중심으로 하여 서귀포 관측소는 서귀포, 하원, 돈내코, 1100고지로 분류하여 분석하였으며 서귀포 관측소를 중심으로 표고별 강우량분포를 분석하여 표고별 강우량 비를 Table. III-8과 같이 산정하였고, Fig. III-3과 같이 표고별 강우량비를 나타낸 관계도를 나타내었다.

또한 표고별 강우보정계수를 회귀 분석하여 후술되는 홍수량 산정에서 선정된 연구대상 유역의 홍수량 산정지점별로 평균표고에 대한 강우보정계수를 고려한 결과는 Table. III-9와 같다.

Table. III-8 Estimate the ratio of rainfall at altitude

관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)											
		1993년			1994년			1995년			1996년		
		8.7	8.19	6.22	8.11	6.18	10.11						
서귀포	50.5	146.2	80.2	100.1	304	118	111	365.5	226.8	219.8	240.6	137.2	103
하원	417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돈내코	600	0	118	121	566	150	566	359	241	456	321	147	0
1100고지	1,100	150	-	76	420	-	420	266	-	-	-	-	-
관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)											
		1997년			1998년			1999년			2000년		
		8.6	4.21	11.25	9.20	9.29	4.1	8.3	7.1	9.17	112	90.5	68.5
서귀포	50.5	162.6	106.9	135.1	227.3	133.4	129	247.8	145	118	-	-	-
하원	417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138	-	-
돈내코	600	203	122	240	110	225	49	425	156	80	149	-	141
1100고지	1,100	-	67	151	-	-	-	-	325	-	-	-	-
관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)											
		2000년				2001년				2002년			
		9.13	8.20	8.4	6.23	8.9	10.27	7.6	4.28	5.6	10.21	10.18	8.31
서귀포	50.5	84.5	68.5	58.5	110.2	96.5	88.1	110	96.5	84.5	72.2	117	116
하원	417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105.5	360
돈내코	600	171	-	-	113	96	85	113	96	106	122	163	255
1100고지	1,100	96	-	72	87	75	125	91	13	21	23	79	801
관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)											
		2002년				2003년				2004년			
		7.5	7.26	8.8	6.18	9.12	5.30	7.1	8.17	8.22	9.11	4.18	4.26
서귀포	50.5	106.5	104	72	168	165	155	83.5	108	214	160	130.5	109.5
하원	417	121.5	168.5	71.5	166.5	281.5	181	88.5	102	306	102.5	165	134.5
돈내코	600	124	69	25	200	225	214	82	0	291	186	148	141
1100고지	1,100	260	289	135	117	330	97	18	-	229	86	190	123
관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)											
		2005년				2006년				2007년			
		8.24	8.23	5.5	7.14	5.17	7.10	4.9	6.14	7.4	6.24	8.24	8.23
서귀포	50.5	74.5	71.5	63.5	50.5	49	100	95.5	71	68	66	235.5	104
하원	417	83	10.5	135	51	79	153	100	152.5	105	53	428.5	127.5
돈내코	600	104	37	131	63	97	131	122	157	102	61	323	150
1100고지	1,100	-	-	158	489	-	16	-	211	70	27	145	140
관측소	표고 (m)	실측 강우량(m)						총 계	평균	강우량 비율(%)			
		2007년											
		5.5	7.14	5.17									
서귀포	50.5	91.5	77.5	63	7,874.7	123.0	100.0						
하원	417	86	46	79	4,205.0	140.2	113.9						
돈내코	600	9	111	67	9,142.0	142.8	116.1						
1100고지	1,100	71	37	79	7,200.0	163.8	133.0						

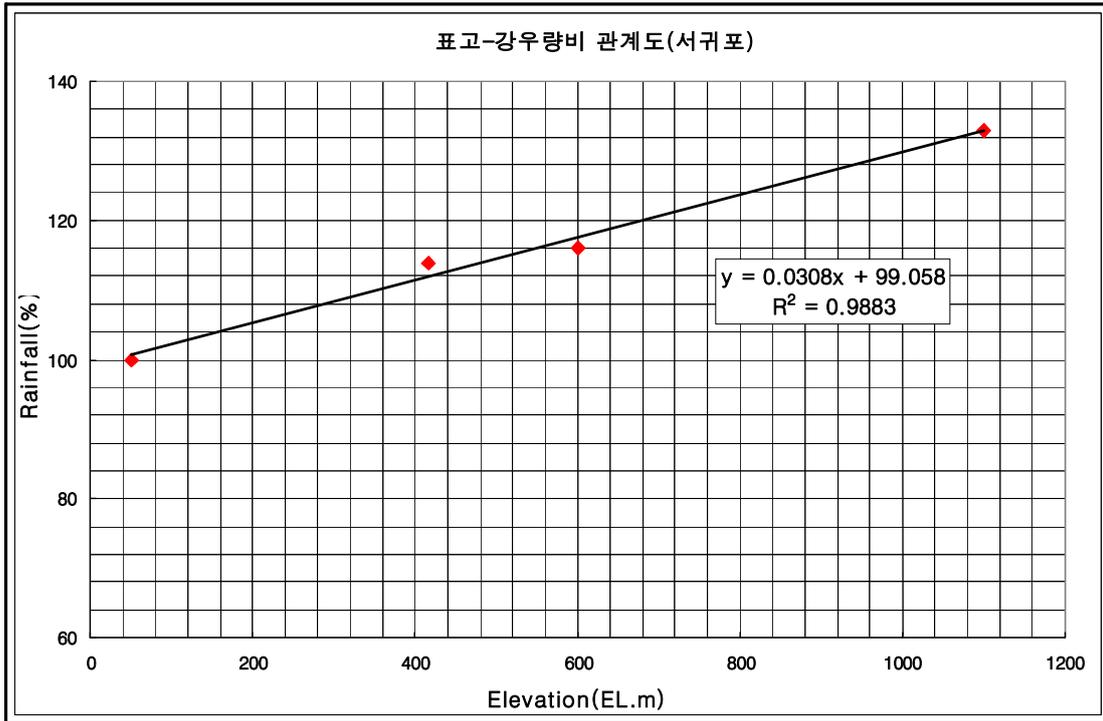


Fig. III-3 Relationship of altitude - ratio of rainfall

Table. III-9 Estimate the coefficient of rainfall correction at estimating location

홍수량 산정지점	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역평균표고(EL.m)	강우보정계수
HS.0	4.58	389.9	1.111
DP.1	3.76	233.9	1.063
DHS.0	4.83	333.3	1.093
LC.0	2.10	73.0	1.013
KS.0	1.79	45.2	1.005

7) 표고별 보정 확률강우량 산정

홍수량 산정지점은 표고별로 강우량이 다르기 때문에 서귀포 관측소 지점의 빈도별 강우강도 공식의 분석 자료를 이용하여 표고별 보정을 하여야 하며 표고별 등고선도를 토대로 홍수량 산정지점에 대한 각각 표고별 강우량 비를 산정하여 평균치를 적용하였다.

강우지속시간별 재현기간별 표고 보정 확률강우량은 다음과 같다.

Table. III-10 Probability precipitation by correcting altitude

재현기간 (년)	지속시간별 확률강우량(mm)						
	10분	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
10	25.1	68.8	104.3	128.8	178.8	240.2	304.9
20	27.6	77.3	118.3	146.3	204.0	275.7	352.0
30	29.1	82.1	126.3	156.2	218.5	296.1	379.0
50	30.9	88.2	136.4	168.7	236.6	321.5	412.9
80	32.6	93.7	145.5	180.1	253.2	345.0	443.8
100	33.4	96.3	149.9	185.5	261.1	356.0	458.5

8) 확률강우강도식의 유도

확률강우강도식은 강우강도-지속시간-재현기간의 관계를 나타내는 식으로서 앞서 산정한 확률강우량을 강우강도로 환산하여 임의 지속시간에 대한 강우량을 산정하기 위하여 Talbot형, Sherman형, Japanese형의 식을 적용하여 강우강도식을 산정하며 최소자승법을 이용하여 구한 값과 강우강도식에 의한 강우강도의 편차가 최소인 공식을 그 지점의 확률강우강도식으로 정한다. 일반적으로 사용하고 있는 확률강우강도 공식은 아래와 같다.

Talbot : 
$$I = \frac{a}{t + b}$$

Sherman : 
$$I = \frac{c}{t^n}$$

Japanese : 
$$I = \frac{d}{\sqrt{t + e}}$$

여기서,  $I$  : 강우강도(mm/hr),

$t$  : 강우지속시간(분),

$a, b, c, d, e, n$  : 대상지역에 따라 정해지는 상수 값.

본 연구에서 강우빈도의 해석시 사용한 기본자료인 연최대강우자료는 지속시간이 10분에서 24시간까지로, 지속시간의 범위가 상당히 크기 때문에 하나의 강우강도식으로 사용하는 것은 무리가 있다. 서귀포관측소의 경우에는 단시간 및

장시간 확률강우강도식의 경계점이 Fig. III-4의 IDF 곡선에서와 같이 대체로 180분 내외에서 나타나고 있으므로, 단시간 및 장시간의 구분기간을 각각 180분 이하와 180분 이상으로 규정하여 확률강우강도식을 유도하였다. Table. III-11은 서귀포지점의 확률강우강도식을 유도하기 위한 강우지속시간별 확률강우강도를 나타낸다.

Table. III-11 Probability rainfall intensity at different rainfall duration

강우지속시간별 확률강우강도(mm/hr)							
구분	10분	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
10년	150.6	68.8	52.2	42.9	29.8	20.0	12.7
20년	165.6	77.3	59.2	48.8	34.0	23.0	14.7
30년	174.6	82.1	63.2	52.1	36.4	24.7	15.8
50년	185.4	88.2	68.2	56.2	39.4	26.8	17.2
80년	195.6	93.7	72.8	60.0	42.2	28.8	18.5
100년	200.4	96.3	75.0	61.8	43.5	29.7	19.1



Fig. III-4 I-D-F CURVE (long-term)

(1) 단시간 확률강우강도식

적절한 재현기간별 확률강우강도식을 결정하기 위해 편차 및 상관계수를 검토한 결과, 서귀포지방의 단시간 확률강우강도식은 전 빈도에 대해서 Sherman형이 가장 양호한 것으로 나타났다. 결정된 단시간 확률강우강도식은 Table. III-12와 같다.

Table. III-12 Probability rainfall intensity formula during short duration(less than 180 minutes)

재현기간	구분	Talbot 형	Sherman 형	Japanese 형	Semi-Log 형
10년	공식	$\frac{10,525}{(t+74.965)}$	$\frac{406.33}{t^{0.43162}}$	$\frac{620.30}{(\sqrt{t}+1.0495)}$	$234.55 + (-87.691) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	9.83	0.46	1.40	4.93
	결정계수	0.97948	0.99982	0.99939	0.98975
20년	공식	$\frac{12,155}{(t+78.764)}$	$\frac{434.70}{t^{0.41965}}$	$\frac{715.92}{(\sqrt{t}+1.2673)}$	$256.65 + (-94.998) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	10.68	0.54	1.69	5.21
	결정계수	0.97875	0.99978	0.99924	0.99023
30년	공식	$\frac{13,059}{(t+80.291)}$	$\frac{453.47}{t^{0.41508}}$	$\frac{769.01}{(\sqrt{t}+1.3551)}$	$270.05 + (-99.571) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	11.22	0.62	1.88	5.45
	결정계수	0.97843	0.99974	0.99912	0.99034
50년	공식	$\frac{14,193}{(t+82.030)}$	$\frac{475.35}{t^{0.40926}}$	$\frac{835.87}{(\sqrt{t}+1.4589)}$	$286.07 + (-104.92) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	11.75	0.67	2.00	5.65
	결정계수	0.97850	0.99970	0.99905	0.99071
80년	공식	$\frac{15,247}{(t+83.552)}$	$\frac{496.48}{t^{0.40494}}$	$\frac{897.74}{(\sqrt{t}+1.5464)}$	$301.21 + (-110.05) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	12.35	0.76	2.21	5.91
	결정계수	0.97817	0.99966	0.99893	0.99081
100년	공식	$\frac{15,750}{(t+84.245)}$	$\frac{506.33}{t^{0.40297}}$	$\frac{927.30}{(\sqrt{t}+1.5866)}$	$308.33 + (-112.45) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	12.62	0.82	2.31	6.04
	결정계수	0.97804	0.99963	0.99886	0.99086

(2) 장시간 확률강우강도식

단시간과 동일한 절차를 통하여 적절한 재현기간별 확률강우강도식을 결정하기 위해 편차 및 상관계수를 검토한 결과, 서귀포지방의 장시간 확률강우강도식은 전 빈도에 대해서 Sherman형이 가장 양호한 것으로 나타났다. 결정된 장시간 확률강우강도식은 Table. III-13과 같다.

Table. III-13 Probability rainfall intensity formula during long duration(more than 180 minutes)

재현기간	구분	Talbot 형	Sherman 형	Japanese 형	Semi-Log 형
10년	공식	$\frac{23,070}{(t+395.49)}$	$\frac{1,978.9}{(t+81)^{0.68846}}$	$\frac{440.79}{(\sqrt{t}-3.8392)}$	$116.63 + (-33.352) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.09	0.09	1.21	1.45
	결정계수	0.99809	0.99994	0.99725	0.99173
20년	공식	$\frac{26,930}{(t+411.70)}$	$\frac{2,124.3}{(t+81)^{0.67821}}$	$\frac{514.35}{(\sqrt{t}-3.5374)}$	$132 + (-37.637) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.28	0.11	1.28	1.62
	결정계수	0.99790	0.99993	0.99745	0.99183
30년	공식	$\frac{29,032}{(t+416.94)}$	$\frac{2,220.1}{(t+81)^{0.67429}}$	$\frac{554.54}{(\sqrt{t}-3.4357)}$	$140.69 + (-40.062) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.36	0.12	1.36	1.70
	결정계수	0.99793	0.99991	0.99740	0.99210
50년	공식	$\frac{31,734}{t+424.81}$	$\frac{2,329.1}{(t+81)^{0.66923}}$	$\frac{606.07}{(\sqrt{t}-3.2881)}$	$151.43 + (-43.052) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.47	0.13	1.44	1.80
	결정계수	0.99787	0.99991	0.99748	0.99233
80년	공식	$\frac{32,247}{(t+430.66)}$	$\frac{2,429.2}{(t+81)^{0.66492}}$	$\frac{654.13}{(\sqrt{t}-3.1740)}$	$161.37 + (-45.809) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.55	0.16	1.53	1.87
	결정계수	0.99792	0.99989	0.99742	0.99264
100년	공식	$\frac{35,396}{(t+432.86)}$	$\frac{2,484.3}{(t+81)^{0.66365}}$	$\frac{676.03}{(\sqrt{t}-3.1335)}$	$166.12 + (-47.138) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.60	0.16	1.56	1.92
	결정계수	0.99789	0.99990	0.99745	0.99268

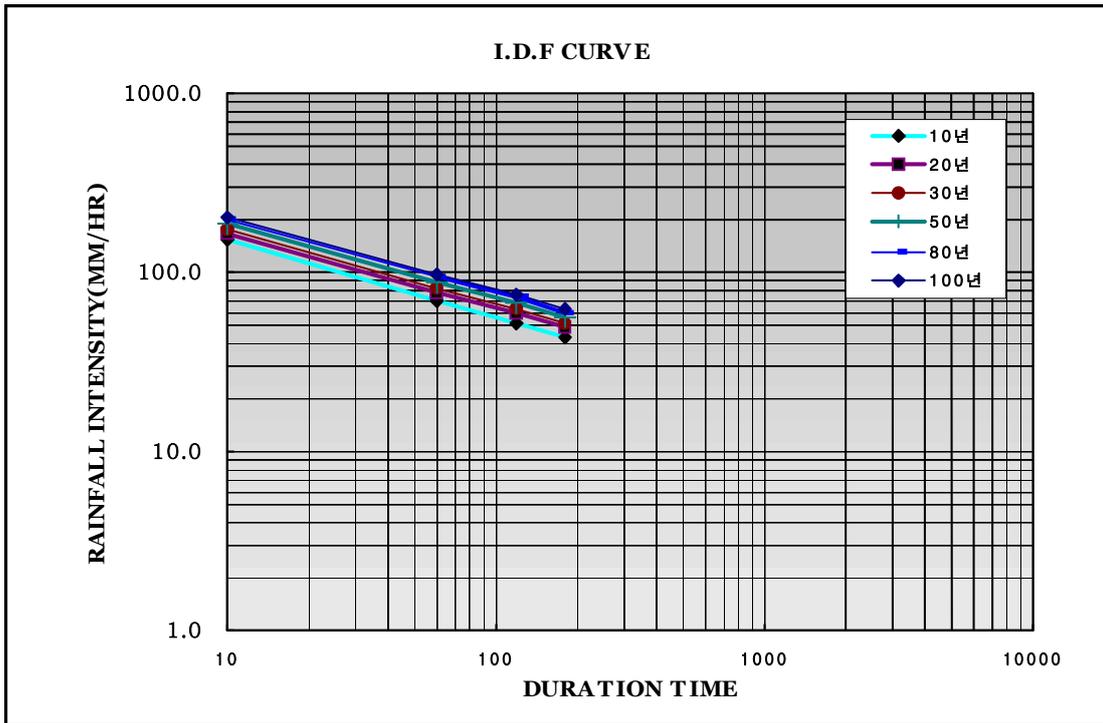


Fig. III-5 I-D-F Curve (short duration)

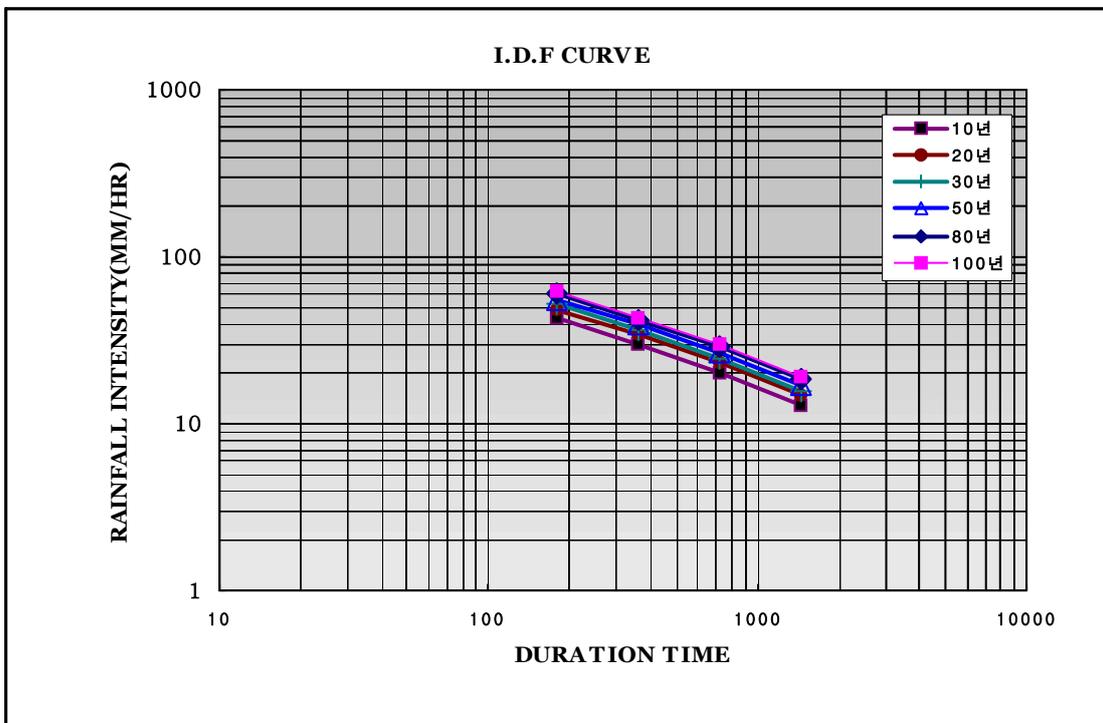


Fig. III-6 I-D-F Curve (long duration)

#### 9) 설계 강우의 빈도 설정

수공구조물의 설계빈도는 시설의 중요도에 따라 차이가 있지만 일반적으로 해당시설의 내구연한에 해당하는 재현기간을 설계빈도로 설정해 왔으며, 하천설계 기준(한국수자원학회, 2002, p275)에 따르면 도시배수시설이나 농업용 배수시설은 5~50년, 농경지 하천제방은 50~100년, 도시하천의 제방은 50~200년, 홍수방어용 저수지는 50년에 위험도를 고려하도록 되어 있다. 본 연구에서는 지방하천의 경우 80~100년, 소하천은 80년으로 빈도를 설정하였다.

#### 1.4 설계강우의 시간분포 방법 결정

유출량을 산정함에 있어서 단위도법 등을 이용하는 경우에는 시간별 강우량의 산정과 이 산정치를 어떤 모형으로 분포시킬 것이냐 하는 문제가 발생하게 되는데, 본 연구에서는 Huff의 4분위법을 이용한 분포형을 채택하여 사용하였다.

「1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제2권 지역적 설계 강우의 시간적 분포, 건설교통부, 2000.6」에서는 전국 기상청 산하 측후소 및 관측소의 시우량 자료를 이용하여 제1구간 호우에서 제4구간 호우까지 확률별로 10%에서 90%까지 제시되어 있다.

상기 연구결과 중 서귀포관측소 지점의 Huff방법에 의한 분석 결과를 살펴보면, 6시간 이하의 호우는 1구간 22개, 2구간 23개, 3구간 19개, 4구간 9개로 되어 있으며, 백분율로 환산하면 각각 30%, 32%, 26%, 12%로 2구간 호우가 가장 많이 나타났으나, 전 지속기간에 대하여 평균 강우강도보다 큰 중호우인 경우에는 구간별로 각각 36%, 32%, 19%, 13%로 나타나 제 1구간 호우가 가장 많이 나타났다.

연구에서 채택된 다항식은 6차 곡선으로 연구대상지역의 강우관측기록에 대하여 「지역적 설계 강우의 시간적 분포, 건설교통부, 2000」에서 분석한 분위별 누가우량곡선의 종거는 통계해석상 중앙값을 나타내는 50% 누가계열을 채택한 Table. III-14와 같으며, 이를 사용하여 회귀분석한 결과 얻어진 회귀계수는 Table. III-15와 같다. 서귀포관측소지점의 Huff 1~4분위의 무차원 누가시간-누가 강우량도는 Fig. III-7과 같다.

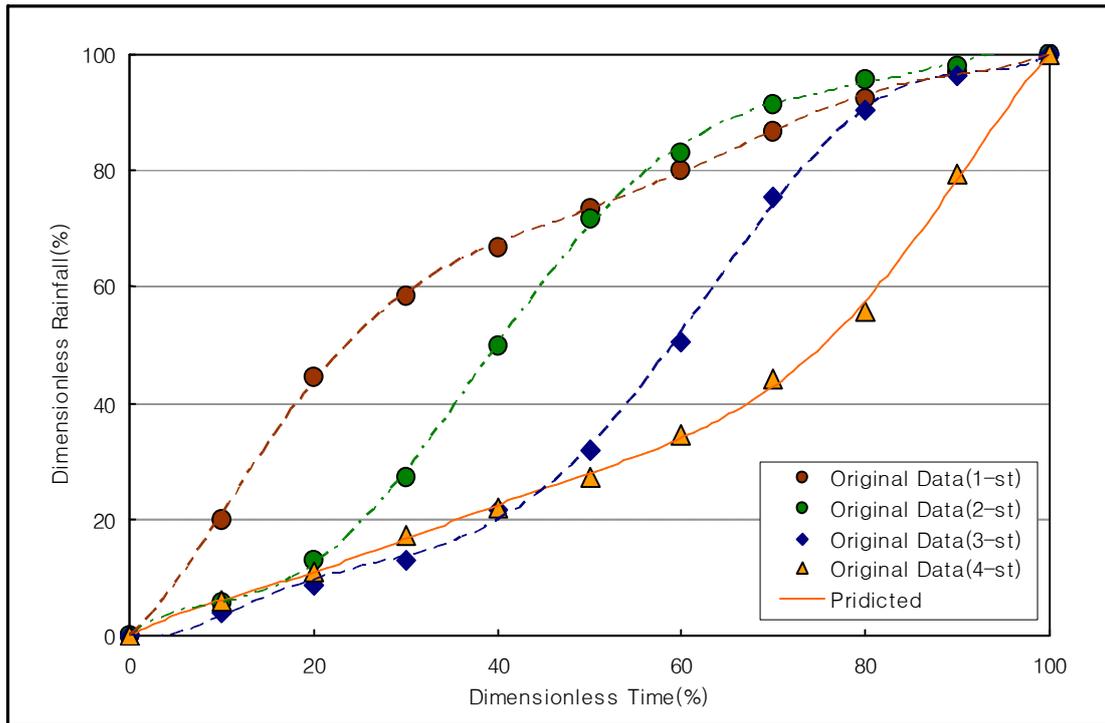


Fig. III-7 Precipitation mass curve by regression analysis

Table. III-14 Precipitation mass curve data at quartile storm in Seoguipo

분위	지속기간(%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
제 1분위, 50%	0.0	20.0	44.4	58.6	66.7	73.5	80.2	86.6	92.4	96.9	100.0
제 2분위, 50%	0.0	5.5	12.8	27.2	50.0	71.6	83.0	91.2	95.8	98.1	100.0
제 3분위, 50%	0.0	4.0	8.7	13.0	21.7	31.9	50.4	75.4	90.5	96.3	100.0
제 4분위, 50%	0.0	5.9	10.9	17.3	22.0	27.3	34.5	44.1	55.8	79.4	100.0

Table. III-15 Regression coefficient of Precipitation mass at quartile storm in Seoguipo

계수	1분위	2분위	3분위	4분위
a	-0.1358493681473	-0.0059645461552	0.1580005943056	-0.0578773580419
b	1.2569511500624	1.3281330714235	-0.4571755808865	0.8856883303015
c	0.1368954693298	-0.1409519013778	0.1300298375545	-0.0446752338976
d	-0.0065908431045	0.0079118306944	-0.0066328945579	0.0021846886569
e	0.0001210763575	-0.0001583996355	0.0001487926094	-0.0000485619972
f	-0.0000010019042	0.0000013561275	-0.0000014332579	0.0000004924868
g	0.0000000031078	-0.0000000042565	0.0000000049314	-0.0000000017949

주 : 일반식  $Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 + fX^5 + gX^6$

## 2. 유효강우량 분석

지상에 도달한 강우량 중 일부는 지표면으로 침투하고 그 초과분은 지표면을 흘러 유출을 형성하게 되는데 이와 같이 강우량으로부터 침투에 의한 손실을 뺀 값을 유효강우(초과강우량 또는 직접유출)라 하며, 산정방법으로는  $\Phi$ 지표법( $\Phi$  Index Method), W지표법(W Index Method), SCS 방법(Soil Conservation Service Method) 및 유출에 대한 실측자료로부터 유도하는 방법 등이 있다.

이 중 유역의 정량적인 유출분석 방법은 유출에 대한 실측자료를 이용하는 것이 가장 좋은 방법이나, 연구 유역에는 실측자료가 없는 실정이므로 유역의 지질 및 토지이용상황을 고려한 SCS 방법을 사용하였다.

### 2.1 SCS 방법

이 방법은 미국 토양보전국에서 제안한 방법으로 총우량과 유효우량간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

$$Q = 0 \quad (P < 0.2S)$$

여기서, P는 강우지속기간동안의 총우량(또는 누가우량, mm), S는 유역의 최대 잠재보유수량(potential maximum retention, mm)이고, Q는 총우량 P로 인한 직접 유출량(mm)으로써 유효우량에 해당한다.

SCS에 의하면 직접 유출능력을 표시하는 유출곡선지수(Runoff Curve Number) CN은 S와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \quad \text{또는} \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

CN(Curve Number)은 흙의 종류 및 지표의 상태에 따라 정한 지수로서 유효 강수량(직접유출, 초과강수량) 계산시 고려하여야 할 사항은 흙의 종류, 토지의 사용용도, 흙의 초기함수 상태 등으로 구분하였는바, 그 적용기준은 Table. III-16과 같다.

Table. III-16 Classification of soil group in SCS runoff curve method

흙의 분류	특 징
A	최대유출발생가능성(lowest runoff potential)을 가지고 있는 흙의 집단으로서 진흙, silt가 거의 없는 모래층 또는 자갈층
B	유출발생 가능성이 다소 높은 (moderately low runoff potential) 사질토이며 침투율은 평균보다 높으나 다소 진흙이나 silt가 포함된 흙
C	유출발생가능성이 B분류보다는 높은 (moderately low runoff potential) 흙으로서 진흙과 silt가 많이 섞여 얇은 층을 구성하며 침투율은 평균보다 다소 낮은 흙
D	유출발생 가능성이 가장 높은 (moderately low runoff potential) 흙으로서 대부분이 진흙과 silt로서 불투수층과 직접 접하여 있는 흙

## 2.2 유역의 선행토양함수조건

총강수량과 유효우량간의 관계분석에 있어서 5일 혹은 30일 선행강수량은 한 유역의 선행토양함수조건을 대변하는 지표로 사용된다. 즉, 동일한 강수가 내린 경우 선행강수량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출율(유효우량)은 상대적으로 많아 질 것이나 선행 강수량이 적을 경우에는 침투손실이 커지므로 유효우량은 적어져서 유출율은 저하하게 된다.

SCS에서 기준으로 삼고 있는 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)은 1년을 성수기(growing season, 6월~9월)와 비성수기(dormant season, 10월~5월)로 나누어 각 경우에 대하여 다음과 같은 3가지 조건으로 구분하였다.

- ① AMC-I : 유역의 토양은 대체로 건조상태에 있어서 유출율은 대단히 낮은 상태(lowest runoff potential)
- ② AMC-II : 유출율이 보통인 상태(average runoff potential)
- ③ AMC-III : 유역의 토양이 수분으로 거의 포화되어 있어서 유출율이 대단히 높은 상태(highest runoff potential)

본 연구에서는 최근의 집중호우 성향을 고려할 때 과소산정될 우려가 있어 유출곡선지수(CN) 산정시 AMC-II 조건을 적용하였다.

Table. III-17 Selection of SCS runoff curve number (AMC-II)

토지이용상태	토 양 형				비 고
	A	B	C	D	
논	78	78	78	78	
밭	63	75	83	87	
나 대 지	77	86	91	94	
주 거 지	61	75	83	87	150~300평이하
도 로	98	98	98	98	
상업지역	89	92	94	95	상업 및 주차장지역
학 교	49	69	79	84	보통
공 원	49	69	79	84	보통
주 차 장	98	98	98	98	불투수지역
녹 지	49	69	79	84	
하 천	100	100	100	100	

### 2.3 유출곡선지수(CN) 산정

유출곡선지수 산정은 하천기본계획시 산정한 유출곡선지수(CN)를 이용하였으며, 벡터형태의 토양도, grid 형태의 토지이용분류 table, 토양분류기준 table 및 유역도를 각각 중첩하여 홍수량 산정지점별로 CN값을 적용하였다.

## IV. 하천별 유출량 산정

### 1. 유출량 산정지점

홍수량 산정은 유역내에서 측정된 연별 최대유량을 빈도분석하여 획득하는 직접적인 방법이 가장 정확한 방법이나 유역내에 수문량을 결정할만한 신뢰도 높은 충분한 유량측정 자료가 없는 경우 그 결과를 신뢰하기에는 문제가 따른다. 따라서 연구 구간내의 홍수량 산정은 그 차선택으로 강우량 및 유역의 특성으로부터 홍수량을 구하는 간접방법을 이용하였다. 홍수량 산정은 연구대상하천의 홍수량 검토시에도 참고자료로 활용될 수 있도록 주요지점을 대상으로 확률규모 50년, 80년, 100년, 150년, 200년 5개 빈도에 대하여 산정하였으며 토사유출량 또한 각 산정지점을 대상으로 100년 빈도에 대해 산정하였다. 유출량 산정지점은 Table. IV-1, Fig. IV-1과 같다.

Table. IV-1 Estimating location for analysis runoff and sediment

하 천 명	부 호	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	비 고
회 수 천	HS.0	4.58	9.71	지방하천
대포천	DP.1	3.76	7.60	지방하천
동회수천	DHS.0	4.83	9.78	지방하천
이천장물	LC.0	2.10	3.73	소하천
골 세	KS.0	1.79	3.80	소하천

자료 : 회수천, 동회수천 - 동홍천외 9개 하천 하천정비기본계획(2007. 2. 서귀포시)  
 대포천 - 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서(서귀포시, 2001.12)  
 이천장물, 골세 - 서귀포시 소하천정비 종합계획 보완 보고서(서귀포시, 2005.2)

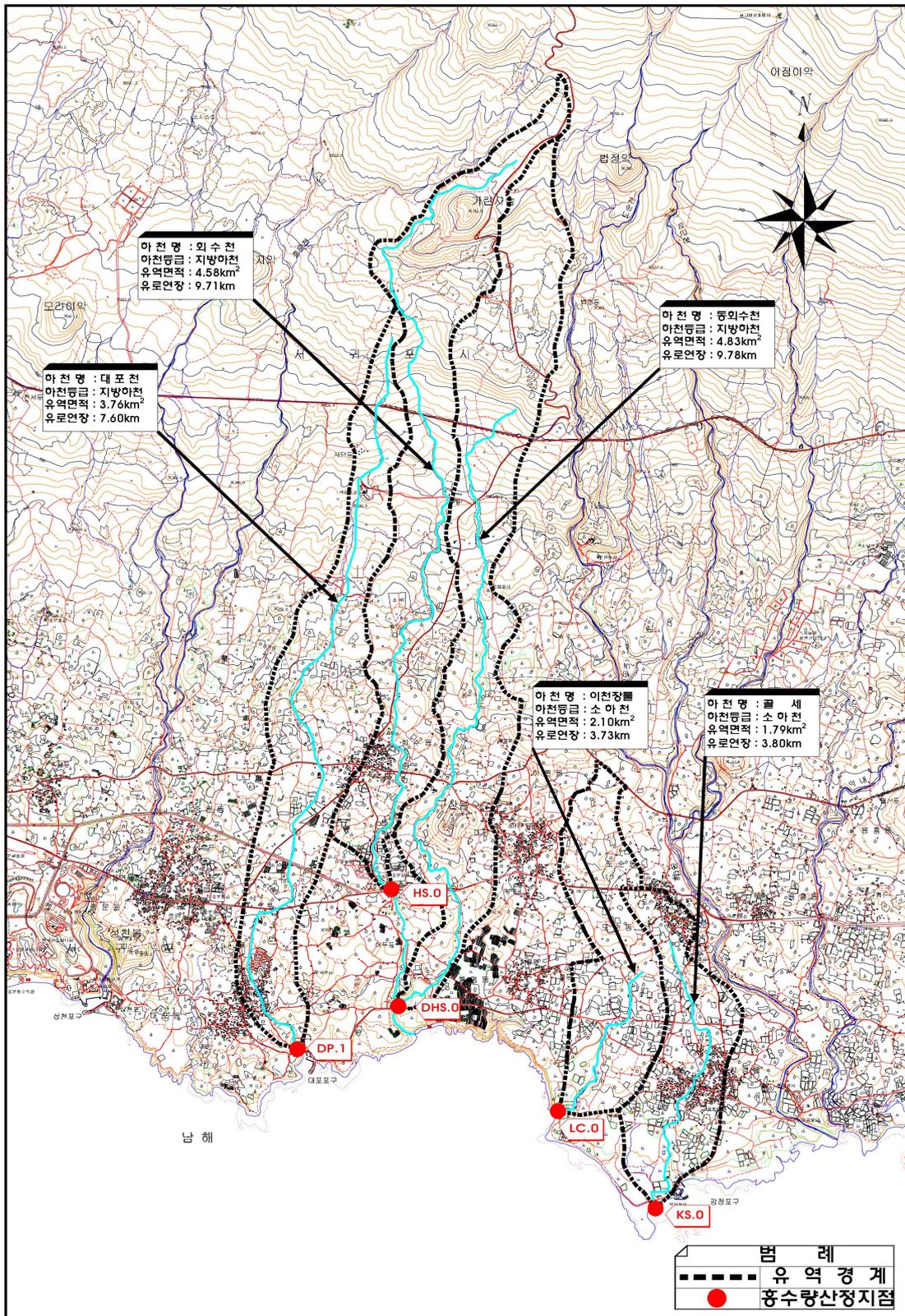


Fig. IV-1 Map of estimating location for analysis runoff and sediment

## 2. 홍수유출량 산정

### 2.1 기본 홍수량 산정

일반적으로 하천유역에 있어서 홍수량 산정은 계측지점(수위관측소)에서 수위 및 유량관측이 시행되어 신뢰할 수 있는 수위-유량관계를 확립할 수 있는 경우에는 매년 관측되는 최고수위에 의한 년최대 홍수량 자료치 계열을 형성하고 이에 대한 확률분석에 의하여 빈도별 홍수량을 산정하는 방법을 사용하며 미계측 지점에서는 합성단위도 방법과 기타 경험식에 의해 산정하고 있다.

연구 대상지역은 과거 수위관측기록 뿐만 아니라 현재에도 수위관측이 이루어지지 않아 수위 및 유량측정성과가 전무한 실정이다. 따라서 홍수량 산정은 실측 유량에 의한 빈도분석은 시행치 못하고 강우량 및 유역의 특성으로부터 홍수량을 구하는 간접적인 방법을 이용하였다.

기설 혹은 계획댐의 홍수조절을 고려하지 않은 상태에서의 홍수량 산정방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 유역추적법(Clark Method), Nakayasu 종합단위도법, NRCS 무차원 단위도법, Kajiyama, 합리식, 그리고 국내공식인 고재용식을 적용하여 홍수량을 산정하였으며, 본 유역의 홍수량을 채택함에 있어 산정방법별 홍수량의 비교, 기수립된 지방하천의 비유량관계 등을 종합적으로 검토하고 각 하천유역의 특성을 고려하여 합리식과 유역추적법에 의한 값을 채택하였다. 각 홍수량 산정방법별 기본식은 다음과 같다.

#### 1) 유역추적법(Clark Method)

Clark 방법은 순간단위도 개념을 이용하고 한 유역에 대하여 단 하나의 단위도를 유도한다. Clark방법의 기본개념은 유역을 대표하는 시간-면적주상도의 추적에 의하여 지속기간이 영인 단위유효강우량을 유출수문곡선으로 변환하는 것으로 이와 같이 유도된 수문곡선은 지속기간이 영이고 단위강우량(1cm 또는1mm)이므로 순간단위도(IUH)이다.

추적과정을 살펴보면 직렬로 연결된 선형수로가 유역의 출구에 위치하고 유역

과 동등한 저류특성을 갖는 선형저수지로 구성되며 선형수로의 출력이 선형저수지의 입력이 되고 선형저수지의 출력이 IUH가 된다. 선형수로의 크기에는 변화 없이 유출의 전이(translation)만을 모의하며 그 내용은 지체이다. 선형저수지 유역의 저류와 저항의 영향을 반영하고 내용은 유출의 확산(擴散 : diffusion) 또는 감쇠(減衰 : attenuation)이며 선형저수지의 역할은 유역의 유출구에 가상적인 선형저수지를 위치시켜 저류량이 유출량에 선형으로 비례하도록 한다. 이러한 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_i = KO_i$$

여기서  $S_i$ 는 기간  $i$ 끝에서 저류량,  $O_i$ 는 기간  $i$ 동안의 유출량,  $K$ 는 저류상수로 시간의 차원[  $T$  ]을 갖으며 유입량과 유출량의 차이는 저류량의 변화와 같으므로 다음식으로 표현된다.

$$\bar{I}_i - \frac{O_{i-1} + O_i}{2} = \frac{S_i - S_{i-1}}{\Delta t}$$

$\bar{I}_i$ 는 기간  $i$ 동안의 평균유입량으로 시간-면적주상도로부터 결정되며 두 식을  $O_i$ 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$O_i = CI_i + (1 - C)O_{i-1}, \quad C = \frac{2\Delta t}{2K + \Delta t}$$

위의 식의 수치해는 시간-면적주상도로 정의되는 유입량의 추적으로 Fig. IV-2와 같은 IUH의 중거의 평균으로 계산되고  $\Delta t$ 시간의 단위도의 시간  $i$ 에서의 중거는 다음과 같다.

$$U_i = \frac{1}{2}(O_i + O_{i-1})$$

Clark 단위도법은 도달시간 및 저류상수를 매개변수로 가지는 방법으로 이들 매개변수는 계측유역에서는 검정을 통하여 산출하되 미계측유역 또는 검정의 초기치로 도달시간은 주로 WMS 모형을 통하여 산정한 유역의 지형학적 특성인자 값을 토대로 WMS 자체에 내장된 Kirpich 공식, Kerby 공식과 추가로 Kraven (I), Kraven(II) 공식 및 Rziha 공식 등을 사용하여 홍수량 산정지점별로 산정한다. 도달시간 및 저류상수 산정방법별 기본식은 다음과 같다.

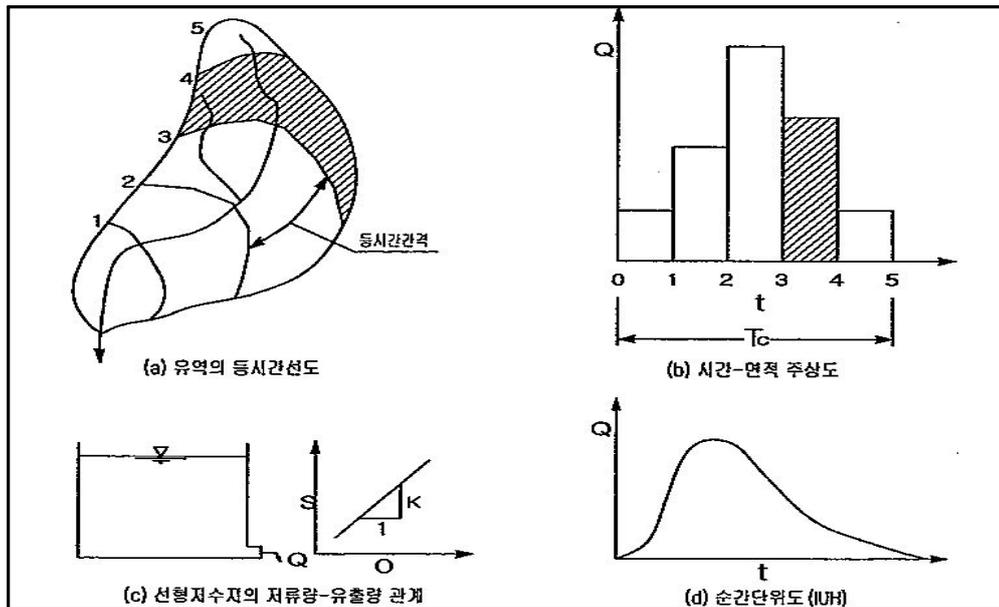


Fig. IV-2 Concept of Clark unit hydrograph

- Kirpich 공식 : 미국의 농경지 지역의 소유역을 대상으로 유도된 공식

$$t_c = 0.0663 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

- Kraven 공식(I) : 자연하천의 하류부( $S < 1/200$ )에 적용되는 공식

$$t_c = 0.0074 \frac{L}{S^{0.515}}$$

- Kraven 공식(II) : 경사에 따른 유속으로 도달시간을 산출하는 공식

$$t_c = \frac{L}{3.6V}$$

( $S > 1/100$  :  $V = 3.5$  m/s,  $1/200 \leq S \leq 1/100$  :  $V = 3.0$  m/s,  $S < 1/200$  :  $V = 2.1$  m/s)

여기서  $t_c$ 는 도달시간(hr),  $L$ 은 유로장(km)이고  $S$ 는 평균경사이다.

• Rziha 공식 : 자연하천의 상류부( $S \geq 1/200$ )에 적용되는 공식

$$t_c = 0.0139 \frac{L}{S^{0.6}}$$

• Kerby 공식 : 도달시간이 유로연장 및 평균경사 뿐만 아니라 피복의 조도에  
도 관계가 있다고 보고 유도된 공식

$$t_c = \frac{36.264(L \cdot N)^{0.467}}{S^{0.2335}}$$

$t_c$ 는 분(min)단위,  $N$ 은 피복면의 조도계수로서 포장지역은 0.02, 평탄한 나대  
지는 0.1, 거칠고 풀이 없는 지역은 0.3, 초지는 0.4, 산림은 0.8의 값을 각각 사용  
한다.

• Clark 공식

$$K = C \frac{L}{\sqrt{S}}$$

• Linsley 공식

$$K = \frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$$

여기서,  $K$ 는 저류상수(hr),  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 鬮면적(km<sup>2</sup>),  $S$ 는 평균  
경사(%)이며,  $C$ 는 0.5~1.4의 값을 가지는 상수,  $b$ 는 0.01~0.03의 값을 가지는  
상수이다.

- Russel 공식(『Flood Runoff Analysis(1994, USACE)』)

$$K = a t_c$$

$K$ 는 저류상수(hr),  $a$ 는 도시지역(developed catchments)은 1.1~2.1, 자연지역(rural catchments)은 1.5~2.8, 산림지역(forested catchments)은 8.0~12.0의 범위이다.

- Sabol 공식(『Flood Runoff Analysis(1994, USACE)』)

$$K = \frac{t_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}}$$

$K$ 는 저류상수(hr),  $t_c$ 는 도달시간(hr),  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다.

## 2) Nakayasu(中安) 종합단위도

Nakayasu는 Horner와 Flynt의 소유역에서 수문자료를 분석하여 유도한 단위도를 일본 전하천유역에 적용할 수 있는 합성단위도를 작도한 방법이다. 유효우량의 지속기간, 즉 단위도를 결정하는 합성단위도를 작도할 수 있도록 한 방법으로 Fig. IV-3과 같으며, 이를 위한 단위도 특성치의 계산공식은 다음과 같다.

### ① 단위도의 최대유량

$$Q_p = \frac{0.2778AR_0}{0.3t_p + t_k}$$

여기서,  $A$ 는 대상유역의 면적(km<sup>2</sup>),  $R_0$ 는 단위유효우량(mm)으로 통상1mm가 사용되며,  $t_p$ 는 유출시점으로부터 최대유량  $Q_p$ 까지의 시간(hr),  $t_k$ 는 유량이 최대유량의 0.3배로 감소하기까지의 소요시간(hrs)이다.

② 단위도형

- 상승곡선  $0 < t < t_1$  일 때 :  $Q/Q_p = (t/t_p)^{2.4}$
- 감수곡선  $t_p < t \leq t_k$  일 때 ( $1 > (Q/Q_p) \geq 0.3$ ) :  $(Q/Q_p) = 0.3^{(t-t_p/t_k)}$   
 $t_k < t \leq 1.5t_k$  일 때 ( $0.3 > (Q/Q_p) \geq 0.3^2$ ) :  
 $(Q/Q_p) = 0.3^{(t-t_p+0.5t_k)/1.5t_k}$
- $1.5t_k < t$  일 때 ( $0.3^2 > (Q/Q_p)$ ) :  
 $(Q/Q_p) = 0.3^{(t-t_p+1.5t_k)/2t_k}$

③ 유역특성 계수

$L < 15\text{km}$  일때  $t_g = 0.21L^{0.7}$  (hr)

$L \geq 15\text{km}$  일때  $t_g = 0.4 + 0.058L$  (hr)

$t_k = 0.47(AL)^{0.25}$

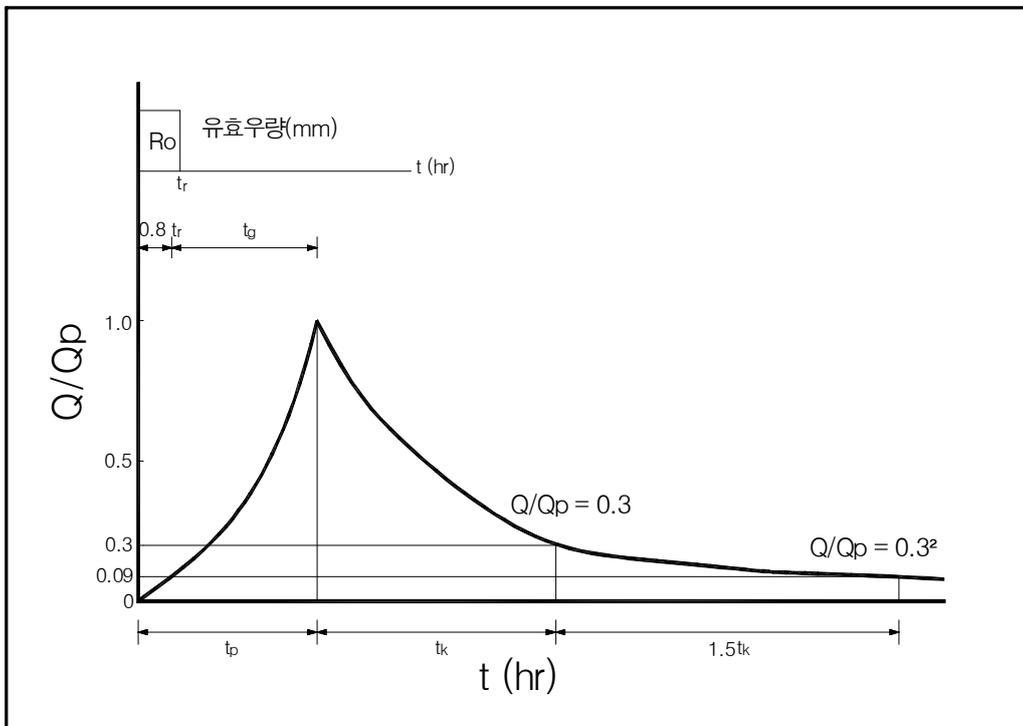


Fig. IV-3 Nakayasu synthetic unit hydrograph

### 3) NSCS 무차원 단위도법

미국 토양보전국(US/SCS)이 미계측유역의 유량도를 작성하기 위해 미국내 여러 지역의 대소유역으로 부터 유도한 단위도의 특성을 종합하여 만든 무차원 단위도를 이용하는 방법이다.

NSCS 합성단위도법에서는  $Q_p$ 와  $t_p$ 를 산정하기 위한 식을 다음과 같이 추천한 바 있다.

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + T_L$$

$$Q_p = \frac{2.083A}{t_p}$$

여기서  $t_p$  : 강우시작부터 첨두유량까지 시간(hr)

$t_r$  : 강우지속기간(hr),  $A$  : 유역면적(km<sup>2</sup>)

$T_L$  : 우량 질량중심에서 첨두유량까지 유역 지체시간(hr)

$Q_p$  : 1cm 유효우량시 첨두유량(m<sup>3</sup>/sec)

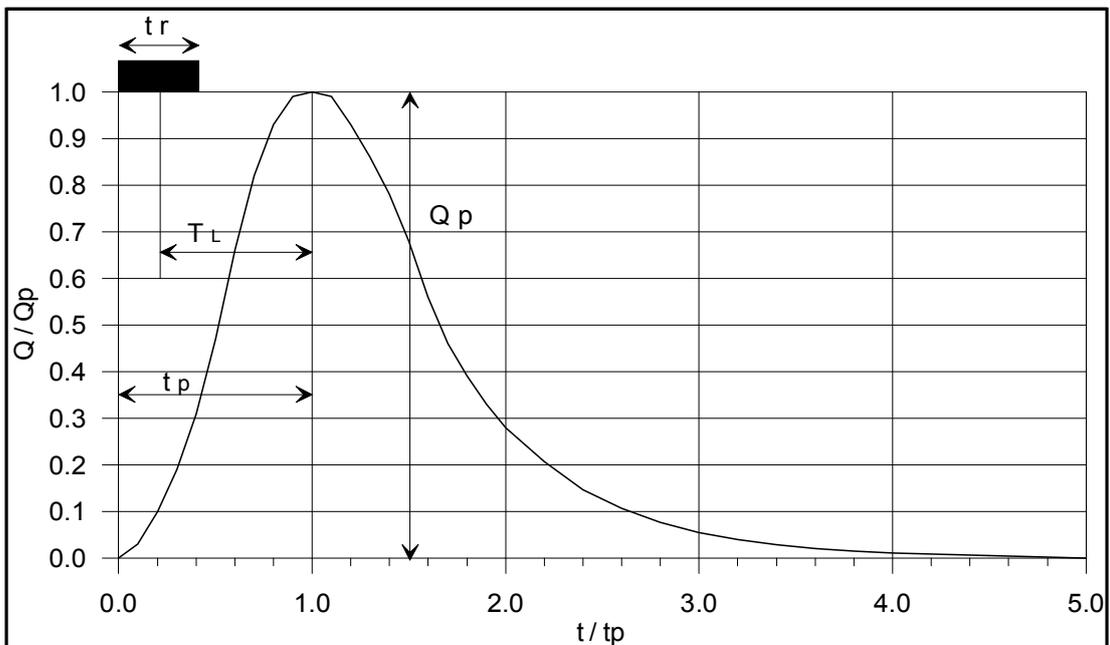


Fig. IV-4 NSCS dimensionless unit hydrograph

다른 계산시간 간격의 단위도와 첨두유량은 NSCS 무차원 단위도로부터 보간 방법으로 구하며, NSCS 무차원 단위도의 시간별 종거는 Table. IV-2와 같다.

Table. IV-2 Result data of NSCS dimensionless unit hydrograph

$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$
0.0	0.000	0.9	0.990	1.8	0.390	3.4	0.029
0.1	0.030	1.0	1.000	1.9	0.330	3.6	0.021
0.2	0.100	1.1	0.990	2.0	0.280	3.8	0.015
0.3	0.190	1.2	0.930	2.2	0.270	4.0	0.011
0.4	0.310	1.3	0.860	2.4	0.147	4.5	0.005
0.5	0.470	1.4	0.780	2.6	0.107	5.0	0.000
0.6	0.660	1.5	0.680	2.8	0.077		
0.7	0.820	1.6	0.560	3.0	0.055		
0.8	0.930	1.7	0.460	3.2	0.040		

#### 4) Kajiyama 극대홍수량법

일반적으로 우리나라 하천에 널리 이용되고 있는 Kajiyama 수정공식은 다음과 같다.

$$A < 42.91 \text{ km}^2 : Q_{\max} = CA^{(1.016 - 0.0035 \log A)}$$

$$A \geq 42.91 \text{ km}^2 : Q_{\max} = 1.886CA^{(0.6784 - 0.01011 \log A)}$$

$$C = F(310 + R24) \left(4 + \frac{A}{L^2}\right)$$

여기서,  $Q_{\max}$  : 극대홍수량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $A$  : 유역면적 ( $\text{km}^2$ ),  $F$  : 유역상태에 따른 계수  
 $R24$  : 일강우량 ( $\text{mm}/\text{일}$ ),  $L$  : 유로연장 ( $\text{km}$ )

#### 5) 합리식

합리식은 주로 도시 소유역 및 산지 계류부에서 첨두유량을 결정하는데 널리 사용되고 있으며, 대상 유역에 균등분포된 일정한 강우강도의 호우로부터 평균유량 개념에 의해 첨두유출량을 결정하는 방법으로서, 그 식은 다음과 같다.

$$Q = 0.2778 \times C \times I \times A$$

여기서 Q : 홍수첨두유량 (m<sup>3</sup>/s)    C : 유출계수  
 I : 강우강도(mm/hr)    A : 유역면적(km<sup>2</sup>)

합리식의 유출계수는 Table. IV-3과 같은 토지이용도별 유출율을 고려하여 하천별 유출계수를 산정하였다.

Table. IV-3 Runoff coefficients of various land use

토 지 이 용		기본유출계수 (C)	토 지 이 용			기본유출계수 (C)	
상업 지역	도심지역	0.70-0.95	차도 및 보도			0.75-0.85	
	근린지역	0.50-0.70	지붕			0.75-0.95	
주거 지역	단독주택	0.30-0.50	잔디	사질토	평탄지	0.05-0.10	
	독립주택단지	0.40-0.60			평균	0.10-0.15	
	연립주택단지	0.60-0.75			경사지	0.15-0.20	
	교외지역	아파트		0.25-0.40	중토	평탄지	0.13-0.17
				0.50-0.70		평균	0.18-0.22
경사지	0.25-0.35						
산업 지역	산재지역	0.50-0.80	나지	평탄한 곳		0.30-0.60	
	밀집지역	0.60-0.90		거친 곳		0.20-0.50	
공원, 묘역		0.10-0.25	농경지	사질토	작물 있음	0.30-0.60	
운동장		0.20-0.35			작물 없음	0.20-0.50	
철로		0.20-0.40		중토	작물 있음	0.20-0.40	
미개발지역		0.10-0.30			작물 없음	0.10-0.25	
				관개 중인 답		0.70-0.80	
도로	아스팔트 콘크리트 벽돌	0.70-0.95		초지	사질토		0.15-0.45
		0.80-0.95			중토		0.05-0.25
		0.70-0.85	급경사 산지		0.40-0.80		
			완경사 산지		0.30-0.70		

#### 6) 고재용식

고재용식은 전국 24개 주요 수문관측소의 홍수량 빈도분석에서 얻은 결과를 바탕으로 빈도항까지 포함시킨 것으로 전국을 한 수문학적 권역으로 생각하여 다음 식을 유도하였다.

$$Q = 15.5 T^{0.22} \times A^{0.64}$$

여기서, Q : T년 홍수량(m<sup>3</sup>/sec), T : 재현기간(년), A : 유역면적(km<sup>2</sup>)

## 2.2 계획 홍수량 산정

기본홍수량은 계획강우에 의한 홍수조절의 기본이 되는 홍수량을 말하며, 기왕홍수, 경제효과, 중요도 등을 종합적으로 고려해서 결정하여야 한다. 기본홍수량 산정방법으로는 확률홍수량 산정식을 이용하는 방법과 과거 홍수를 통계적으로 분석하여 적당한 초과 확률값을 지정하는 방법이 있으나, 대상 유역은 과거 홍수시 유량측정 자료가 없으므로 상기에서 기술한 빈도별 확률홍수량 산정식을 이용하여 확률홍수량을 기본홍수량의 대상규모로 하되 채택빈도는 ① 현재 우리나라에서 일반적으로 적용되고 있는 기준(국가하천:100~200년 빈도, 지방1급하천 : 80~200년 빈도, 지방2급하천 : 50~200년 빈도), ② 해당 하천의 중요도 및 연안토지이용현황, ③ 현지조사에 의한 기술적 판단 등을 고려하였다. 대상빈도 채택은 기수립된 하천기본계획의 채택 빈도, 하천의 규모 및 중요도, 하천변 토지이용현황 및 시설물 현황 등을 검토한 결과 대상 유역은 80~100년 빈도를 대상빈도로 고려하였으며, 기본홍수량 산정 결과는 Table. IV-4와 같다.

계획홍수량이란 하천이나 유역개발 및 홍수조절계획 등 각종계획을 고려하여 이미 산정된 기본홍수를 종합적으로 분석하여 합리적으로 배분하거나 조절할 수 있도록 각 계획기준점에서 책정된 홍수량을 계획홍수량이라 한다. 다시말해 치수계획대상 하천의 개수구간에서 하도가 분담하여야 할 홍수량을 의미하는 바 하천상류부에 홍수조절용 댐이 있거나 방수로 등을 개착하는 경우에는 기본홍수량에서 이들 시설에 의한 홍수조절량 등을 감한 잔여홍수량을 의미한다.

대상유역 내에는 홍수에 영향을 끼칠만한 시설물이 없으며, 홍수량을 하도에서 전량 부담하고 있으므로 앞에서 산정한 기본홍수량을 계획홍수량으로 결정하였다. 계획홍수량은 Table. IV-5와 같다.

Table. IV-4 Result of basic flood at estimated location (unit : m<sup>3</sup>/sec)

하천명	산정지점	산정방법	빈도별 홍수량 (년)					비고
			50	80	100	150	200	
회수천	HS.0 12번국도 A=4.58km <sup>2</sup> L=9.71km	Clark	61	67	71	77	81	
		Nakayasu	59	66	69	75	79	
		Kajiyama	100	105	107	111	114	
		고재웅	97	108	113	124	132	
		합리식	84	89	92	96	100	
		채택	84	89	92	96	100	
대포천	DP.1 대포천하구 A=3.76km <sup>2</sup> L=7.60km	Clark	35	40	47	53	56	
		Nakayasu	29	33	39	44	47	
		Kajiyama	62	65	68	71	72	
		합리식	37	40	43	47	49	
		채택	37	40	43	47	49	
동회수천	DHS.0 동회수천하구 A=4.83km <sup>2</sup> L=9.78km	Clark	62	69	72	78	83	
		Nakayasu	59	66	69	74	79	
		Kajiyama	103	107	110	114	116	
		고재웅	100	111	117	128	136	
		합리식	86	91	94	99	102	
		채택	86	91	94	99	102	
이천장물	LC.0 A=2.10km <sup>2</sup> L=3.73km	Clark	14.1	16.3	19.2	22.0	23.4	
		NSCS	13.5	15.6	18.4	21.1	22.4	
		Nakayasu	10.0	11.6	13.6	15.6	16.6	
		채택	14.1	16.3	19.2	22.0	23.4	
골세	KS.0 A=1.79km <sup>2</sup> L=3.80km	Clark	12.1	14.0	16.4	18.7	19.8	
		NSCS	12.8	14.7	17.2	19.7	20.8	
		Nakayasu	11.6	13.6	16.2	18.8	20.0	
		채택	12.1	14.0	6.4	18.7	19.8	

자료 : 회수천, 동회수천 - 동홍천외 9개 하천 하천정비기본계획(2007. 2. 서귀포시)  
 이천장물, 골세 - 서귀포시 소하천정비 종합계획 보완 보고서(서귀포시, 2005.2)  
 대포천 - 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서(서귀포시, 2001.12)

Table. IV-5 Result of Design flood at estimated location

하천명	부호	채택빈도 (년)	기본 및 계획홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	비고
회수천	HS.0	80	89	지방하천
대포천	DP.1	100	43	지방하천
동회수천	DHS.0	80	91	지방하천
이천장물	LC.0	80	16.3	소하천
골세	KS.0	80	14.0	소하천

자료 : 회수천, 동회수천 - 동홍천외 9개 하천 하천정비기본계획(2007. 2. 서귀포시)  
 대포천 - 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서(서귀포시, 2001.12)  
 이천장물, 골세 - 서귀포시 소하천정비 종합계획 보완 보고서(서귀포시, 2005.2)

### 3. 토사유출량 산정

#### 3.1 토사침식량 산정모형 및 방법

유역을 통해 유출되는 토사량은 RUSLE 모형을 이용하여 추정하였으며 토사유출량 산정을 위해 사용된 토양의 침식량 산정모형 이론과 적용결과를 설명하면 다음과 같다.

##### 1) RUSLE 모형

토사유출량의 산정기법은 여러 가지 모형이 있으나, 토사유출량은 물론 토양보전 대책까지 수립할 수 있는 USLE(Universal Soil Loss Equation), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 등의 공식이 많이 사용되고 있다. RUSLE은 USLE 기법 개발에 사용된 자료에 더 많은 현장자료를 추가하여 수정·보완된 기법으로 그 범용성이 USLE에 비하여 우수하다. 그러나 토양의 피복상태(C)나 토양보전대책인자(P) 등의 산정을 위하여 USLE 산정시 요구되는 자료보다 훨씬 더 세밀한 각종 현장자료를 요구하고 있다.

연구에서는 국립방재연구소에서 제안한 C와 P의 산정은 USLE기법을, 나머지 인자의 산정은 RUSLE기법을 사용하여 토사유출량을 산정하였다(국립방재연구소, 1998). RUSLE는 유역의 면적 A에서 발생하는 토양손실총량 Y를 다음 식으로 나타내고 있으며 산정한 특정 유출지점의 토사유출량은 토사생산지점으로부터 유출지점까지의 전달률을 고려해야한다.

$$\begin{aligned} Y &= R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot A \\ &= R \cdot K \cdot LS \cdot VM \cdot A \end{aligned}$$

여기서, R : 강우침식인자, K : 토양침식인자 LS : 지형인자(무차원)

C : 피복-관리인자 P : 토양보존대책인자 VM : 토양침식조절인자

## 2) 침식능 인자 R의 산정

### (1) 연평균 강우침식인자

토사유출량은 강우의 크기 및 형태에 직접적인 영향을 받게 된다. 따라서 강우에 의한 침식능 R의 산정은 대단히 중요하다. 강우침식인자는 강우의 운동에너지에 의한 토양침식량의 정도를 나타내는 인자로서 공식의 개발 초기에는 연평균 강우침식인자만을 적용하였으나 최근에는 단일호우 강우침식인자가 도입되었다. 연평균 강우침식인자는 연평균 강우량에 의한 토양침식량의 정도를 나타내는 인자로서 통상 기존 연구 결과를 사용하게 되며 Table. IV-6과 같은 연평균 강우침식인자를 주로 채택하고 있으며, 연구대상구역의 연평균 침식능 R값은 서귀포의 636 J/ha·mm/hr로 추정하였다. 그러나 연평균 침식능을 이용한 토양침식량 산정은 빈도개념이 없으므로 단일호우에 의한 침식능을 산정하여 토사침식량을 산정하였다.

Table. IV-6 Annual rainfall erosivity at rainfall observatory

번호	관측소명	R	자료기간	번호	관측소명	R	자료기간
159	부 산	629	1969~1978	135	추풍령	297	1969~1978
143	대 구	209	1969~1978	105	강 룡	297	1969~1978
156	광 주	551	1969~1978	184	제 주	390	1969~1978
146	정 주	364	1969~1978	165	목 포	323	1969~1978
138	포 향	261	1969~1978	108	서 울	593	1969~1978
152	울 산	455	1969~1978	168	여 수	496	1969~1978
189	서귀포	636	1969~1978	162	충 무	508	1969~1979
140	군 산	429	1969~1979	090	속 초	255	1969~1979
192	진 주	424	1969~1979	232	온양(아산)	617	1969~1979
236	부 여	483	1969~1979	278	의 성	293	1969~1979
244	임 실	435	1969~1979	260	장 흥	554	1969~1979
187	성산포	445	1969~1979	295	남 해	701	1969~1979
279	선 산	262	1969~1979	272	영 주	326	1969~1979
226	보 은	351	1969~1979	235	대천(보령)	491	1969~1979
255	함 평	526	1969~1979	211	인 제	294	1969~1979
245	정주(정읍)	552	1969~1979	289	산 청	475	1969~1979
256	승 주	512	1969~1979	223	충 주	328	1969~1979
247	남 원	464	1969~1979	221	제 천	344	1969~1979
112	인 천	406	1969~1980	119	수 원	557	1969~1980
101	춘 천	464	1969~1980	131	청 주	490	1969~1980
133	대 전	490	1969~1980	129	서 산	489	1969~1980
100	대관령	269	1969~1980	201	강 화	687	1969~1980
273	점촌(문경)	324	1969~1980	212	홍 천	417	1969~1980
203	이 천	465	1969~1980	114	원 주	578	1969~1980
202	양 평	427	1969~1980	214	삼 척	215	1969~1980
폐쇄	(함 안)	341	1969~1980				

자료 : 개발에 따른 토사유출량 산정연구, 1998, 국립방재연구소

(2) 단일호우 침식인자

RUSLE 적용공식에서 단일호우에 대한 단위면적당 최초 침식량(A)을 산정하기 위한 강우침식도는 연평균 R값을 이용할 수 없으므로 에너지단위의 합( $\sum E_i$ )과 30분 지속최대강우강도( $I_{30(max)}$ )을 이용하여 단일호우에 대한 R값을 산정하여야 한다.

단일호우 강우 침식인자는 단일호우에 의한 토양침식량의 정도를 나타내는 인자로서 단일호우의 재현기간과 지속기간을 결정하는 것이 필요하게 된다. 재현기간은 50년과 100년 빈도, 지속기간은 24시간을 채택하였다.

단일호우 강우침식인자는 다음과 같은 식을 이용하여 산출한다.

$$R = \sum EI_{30}$$

$$E = \sum e \cdot \Delta P$$

$$e = 0.029 [1 - 0.72 \exp(-0.05 \cdot I)]$$

여기서, R : 단일호우 강우침식인자 ( $10^7 \text{J/ha} \cdot \text{mm/hr}$ )

$I_{30}$  : 설계재현기간의 30분 강우강도 (mm/hr)

E : 강우총에너지 ( $10^7 \text{J/ha}$ )

$\Delta P$  : 강우지속시간 구분시 간격당 강우증가량 (mm)

e : 강우운동에너지 ( $10^7 \text{J/ha/mm}$ )

I : 강우강도 (mm/hr)

Table. IV-7은 50년빈도의 강우침식인자 산정은  $R_{50}=1,233(10^7 \text{J/ha} \cdot \text{mm/hr})$ 로 계산되었고, Table. IV-8은 100년 빈도의 강우침식인자 산정은  $R_{100}= 1,517(10^7 \text{J/ha} \cdot \text{mm/hr})$ 로 각각 나타났다.

Table. IV-7 Estimate of single storm rainfall erosivity(frequency for 50 years)

지속시간 (hr)	강우량 (cm)	간격당 강우량 (cm)	시간 간격 (hr)	강우강도 (cm/hr)	1cm운동에너지 (m j ·tonnes/ha/cm)	에너지단위 (m j i ·tonnes/ha)
0	0.00					
0.5	6.16	6.16	0.50	12.32	288	1,774
1	9.27	3.11	0.50	6.22	281	873
2	13.97	4.70	1.00	4.70	270	1,268
3	17.50	3.53	1.00	3.53	259	913
4	20.52	3.02	1.00	3.02	253	763
5	22.97	2.45	1.00	2.45	245	599
6	25.01	2.04	1.00	2.04	238	485
12	32.97	7.96	6.00	1.33	221	1,759
18	37.67	4.70	6.00	0.78	201	943
24	41.03	3.36	6.00	0.56	188	630
계	R <sub>50</sub> = 1,233 (10 <sup>7</sup> J/ha · mm/hr)					10,007

Table. IV-8 Estimate of single storm rainfall erosivity(frequency for 100 years)

지속시간 (hr)	강우량 (cm)	간격당 강우량 (cm)	시간 간격 (hr)	강우강도 (cm/hr)	1cm운동에너지 (m j ·tonnes/ha/cm)	에너지단위 (m j i ·tonnes/ha)
0	0.00					
0.5	6.70	6.70	0.50	13.40	288	1,930
1	10.14	3.44	0.50	6.88	285	979
2	15.34	5.20	1.00	5.20	274	1,423
3	19.25	3.91	1.00	3.91	263	1,027
4	22.61	3.36	1.00	3.36	257	863
5	25.34	2.73	1.00	2.73	249	679
6	27.62	2.28	1.00	2.28	242	551
12	36.59	8.97	6.00	1.50	226	2,023
18	41.95	5.36	6.00	0.89	206	1,102
24	45.80	3.85	6.00	0.64	193	742
계	R <sub>100</sub> = 1,517 (10 <sup>7</sup> J/ha · mm/hr)					11,321

3) 침식성 인자 K의 산정

토양의 침식성이란 강우에너지와 유출에 의한 침식능에 저항하는 토양의 저항도를 나타내며 연구적으로 토양의 침식성은 표준침식밭(standard erosion plot)에서의 단위 강우지수당 토양의 손실량을 나타낸다. 표준침식밭이란 사면의 상하방향으로 경작된 길이 22.1m, 사면경사 9%의 휴경지로 이때의 L, S, C, P는 모두 1.0이 된다. 따라서 K는 다음과 같이 산정된다.

$$K = \frac{\text{측정된침식량}}{\sum EI_{30}}$$

USDA(1997)는 55개의 중서부 농경지의 자료를 기초로 토양 및 토양 특성인자를 이용하여 K를 산정할 수 있는 도표를 발표하였으며, 해석적 관계식은 다음과 같다.

$$K = 0.1317 \times \left[ \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25 (S_1 - 2) + 2.5 (P_1 - 3)}{100} \right]$$

여기서, K는 토양의 침식성으로 단위는 tons/(acre · unit rainfall index)로 표현된다. OM은 함유 유기물의 백분율, P<sub>1</sub>은 투수지수, S<sub>1</sub>은 토양의 구조지수를 나타내는 값이며 Table. IV-9와 같이 분류한다.

Table. IV-9 Classification of S<sub>1</sub> and P<sub>1</sub>

토 양 의 구 조		토 양 의 투 수 성	
S <sub>1</sub>	Soil Structure	P <sub>1</sub>	Permeability
		1	Rapid
1	Very Fine Granular	2	Moderate to Rapid
2	Fine Granular	3	Moderate
3	Moderate or Coarse Granular	4	Slow to Moderate
4	Block, Platy, Massive	5	Slow
		6	Very Slow

또한, M은 입경에 있어 주종을 이루는 토립자와 토사 전체에 대한 비율(fraction)에 대한 함수로 다음과 같이 표현된다.

$$M = (\%MS + \%VFS)(100\% - CL)$$

여기서, CL은 입도분포곡선에서 점토( $\leq 0.002$  mm)의 백분율, MS는 실트( $0.002 \sim 0.075$  mm)의 백분율, VFS는 매우 고운 모래( $0.075 \sim 0.25$  mm)의 백분율이다.

연구에서는 대상구역의 토질연구결과를 바탕으로 K값을 산정 하여야 하나, 구체적인 토질조사가 이루어지지 않았으므로 개발에 따른 토사유량 산정에 관한 연구(I, 국립방재연구소, 1998) 보고서의 입도 결과를 이용하여 회수천, 대포천, 동회수천, 이천장물, 골세의 토양통을 면적비에 따른 평균으로 각각 적용하였으며, 그 결과표는 Table. IV-10과 같다.

Table. IV-10 Soil characteristics and K factor value of each soil type

토양통	입경분포					유기물 함양 OM	K [tonnes/ha/R]	
	자갈 >2mm	모래 0.1~2.0	극세사 0.05~0.1	이토 0.002~0.005	점토 <0.002		Erickson	Wischmeir
구좌	2.6	2.2	1.3	56.7	39.8	20.1	0.4	0.3
감산	15	15.9	2.2	52	29.9	9.93	0.39	0.06
교래	26.5	18.1	4.2	53.4	24.3	5.79	0.17	0.19
금악	0	3.9	20.9	54.1	21.1	2.32	0.62	0.53
논고	0	21.6	25	55	20.9	19.96	0.4	0.26
대정	3.8	12.7	6.9	44.2	36.2	6.39	0.32	0.15
동귀	14.5	11	2.9	62.9	23.2	1.96	0.6	0.41
민악	1.6	3.8	2.6	63.9	29.7	20.38	0.38	0.26
송악	3.1	3.1	3.1	63.2	30.6	12.29	0.37	0.26
아라	27.8	8.3	2	67.3	22.4	11.9	0.22	0.26
오라	3.2	6	2	75.4	16.6	1.97	0.59	0.56
용수	25.7	17.4	3.3	51.7	27.6	3.1	0.23	0.25
용흥	3.1	14.6	2.9	48.9	33.6	3.1	0.43	0.26
월평	0.4	10.1	3	63.4	23.5	2.53	0.5	0.44
적악	0	45	4	31.6	18.4	15.26	0.28	0.26
제주	9.4	3.3	0.9	74.2	21.6	0.7	0.73	0.57
중문	29.1	12.5	2.6	65.8	19.1	7.91	0.24	0.15
평대	0	3.6	1.7	67	27.7	24.1	0.4	0.26
해안	0	9.5	6.5	51.5	32.5	3.45	0.45	0.3
흑악	0	4.4	3.9	69.7	22	25.22	0.44	0.4
노로	0.6	6.3	2.6	65.3	25.8	17.17	0.4	0.26
애월	5.8	10	1.4	72.4	16.2	2.27	0.68	0.54
무릉	0	13.3	0.8	62.9	23	1.79	0.6	0.46
용강	16.5	24.9	3.6	54.1	17.4	1.78	0.35	0.37

#### 4) 사면경사 인자(S)와 사면길이 인자(L)

토양 손실과 관련된 지형특성 인자는 유역길이, 지면경사, 유역면적, 기복도 등이 있으며, 유역 사면의 길이(L), 사면의 기울기(S)를 통합하여 하나의 무차원 인자(LS)로 간주하여 토사유출량을 산정하였다.

사면경사인자 S는 사면경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용되며 사면의 길이가 15ft 이상인 경우에 대하여 USLE의 S산정기법을 수정하여 다음과 같이 S를 산정한다.

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \sin \theta < 0.09$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5 \quad \sin \theta \geq 0.09$$

여기서,  $\theta$ 는 사면경사각이다. 사면경사 84%까지 교란된 토양에 대한 S에 대해서도 위 식의 적용이 가능하다는 연구결과가 있다. 반면 사면길이가 15ft 미만인 경우 세류작용이 발생하지 않기 때문에 S와 사면경사와의 상관관계는 미약하며 이 경우의 관계식은 다음과 같다.

$$S = 3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56$$

RUSLE에서의 S산정기법은 USLE에 비해 특히 사면경사 20% 이상의 경우 많은 부분이 개선되었다. RUSLE기법에서 L의 산정은 다음과 같다.

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^m$$

여기서,  $\lambda$ 는 m단위의 평면에 투영된 사면의 길이이며 22.1은 표준침식밭의 m단위 길이, 사면경사길이의 먼지수(exponent) m은 아래에 제시된 바와 같이 세류 및 세류간 침식의 비  $\beta$ 와 관련이 있다.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad , \quad \beta = \frac{11.16 \sin \Theta}{3.0(\sin \Theta)^{0.8} + 0.56}$$

RUSLE에서 토양은 침식가능성이 미약한 토양, 보통인 토양, 강한 토양으로 구분하고 있으며 보통인 경우 위 식을 이용하여  $\beta_{mod}$ 를 구할 수 있다. 침식가능성이 미약한 토양의  $\beta$ 는  $0.5 \beta_{mod}$ 이며 침식가능성이 강한 토양의  $\beta$ 는  $2.0 \beta_{mod}$ 이다. 그러나 북서태평양 또는 세류간 침식을 유발할만한 강우에너지가 거의 없는 해빙토양의 경우  $m=0.5$ 를 사용할 것을 권장하고 있으며, 해빙토양이라 하더라도 강우에 의한 유출이 발생하여 세류간 침식이 심각할 경우 세류 및 세류간 침식의 비인  $m$ 은 토양의 침식가능성이 미약한 경우로 간주하여  $m$ 값을 결정해야 한다. 방목지(rangeland)의 경우도 토양의 침식가능성이 미약한 경우로 간주하여  $m$ 값을 결정해야 한다.

토사유출량 분석에서는 L과 S의 산정식을 이용하여 LS를 산정하였으며, 다음 Table. IV-11과 같다.

Table. IV-11 LS factor value distribution of each basin

구분	산정지점	$\sin \Theta$	S	$\beta$	m	L	LS
회수천	HS.0	0.065	0.730	0.807	0.447	15.13	11.04
대포천	DP.1	0.135	2.770	1.294	0.564	18.12	50.19
동회수천	DHS.0	0.043	0.493	0.597	0.374	9.74	4.80
이천장물	LC.0	0.020	0.251	0.329	0.248	3.09	0.78
꿀세	KS.0	0.041	0.472	0.576	0.365	4.98	2.35

#### 5) 토양침식조절인자 VM의 산정

토양침식조절인자(VM)는 토양피복인자(C)와 토양보전대책인자(P)의 곱에 대응하는 무차원인자이다. 연구에서는 Table. IV-12를 이용하여 VM값을 산정하였으며 그 결과는 Table. IV-13과 같다.

Table. IV-12 VM factor value of various soil condition

Condition	VM Factor
1. Bare soil condition	
freshly disked to 6-8 inches	1.00
after one rain	0.89
loose to 12 inches smooth	0.90
loose to 12 inches rough	0.80
compacted bulldozer scraped up and down	1.30
same except root raked	1.20
compacted bulldozer scraped across slope	1.20
same except root raked across	0.90
rough irregular tracked all directions	0.90
seed and fertilize, fresh	0.64
same after six months	0.54
seed, fertilizer, and 12 months chemical	0.38
not tilled algae crusted	0.01
tilled algae crusted	0.02
compacted fill	1.24-1.71
undisturbed except scraped	0.66-1.30
scarified only	0.76-1.31
sawdust 2 inches deep, disked in	0.61
2. Asphalt emulsion on bare soil	
1250 gallons/acre	0.02
1210 gallons/acre	0.01-0.019
605 gallons/acre	0.14-0.57
302 gallons/acre	0.28-0.60
151 gallons/acre	0.65-0.70
3. Dust binder	
605 gallons/acre	1.05
1210 gallons/acre	0.29-0.78
4. Other chemicals	
1000 lb. fiber Glass Roving with 60-150 gallons asphalt emulsion/acre	0.01-0.05
Aquatain	0.68
Aerospray 70, 10 percent cover	0.94
Curasol AE	0.30-0.48
Petroset SB	0.40-0.66
PVA	0.71-0.90
Terra-Tack	0.66
bWood fiber slurry, 1000 lb/acre fresh	0.05-0.73
bWood fiber slurry, 1400 lb/acre fresh	0.01-0.36
bWood fiber slurry, 3500 lb/acre fresh	0.009-0.10
Portland cement + Latex	
1000 lbs/ac + 8 gals/ac	0.13
1500 lbs/ac + 12 gals/ac	0.006

Table. IV-12 VM factor value of various soil condition

Condition	VM Factor
5. Seedings	
temporary, 0 to 60 days	0.40
temporary, after 60 days	0.05
permanent, 0 to 60 days	0.40
permanent, 2 to 12 months	0.05
permanent, after 12 months	0.01
6. Brush	0.35
7. Excelsior blanket with plastic net	0.04-0.10
8. Mulch (depends on type and amount of mulch and erosion potential)	0.01-1.00

Table. IV-13 Estimate of VM factor value

구분	산정 지점	유역면적 (ha)	토지 이용상태별 면적(ha)					VM
			경작지	불투수지역	영구초지	나지	임야	
			0.02	0.01	0.01	0.80	0.01	
회수천	HS.0	458.1	122.5	30.4	50.0	0.0	255.3	0.013
대포천	DP.1	368.3	195.4	26.5	8.4	0.0	138.1	0.015
동회수천	DHS.0	483.3	171.8	25.1	83.4	0.0	203.0	0.014
이천장물	LC.0	51.4	43.8	5.0	1.1	0.0	1.5	0.019
골세	KS.0	179.4	147.4	31.7	0.3	0.0	0.0	0.018

6) 토양침식량 산정

상기에서 산정한 각 계수를 이용하여 토양침식량을 산정한 결과는 Table. IV-14~15와 같다.

Table. IV-14 Estimate of soil erosion by Annual rainfall

구분	산정 지점	유역 면적 [ha]	R [10 <sup>7</sup> J/ha·mm/hr]	K [tonnes/ha/R]	LS	VM	토사침식량 [tonnes/year]	토 사 유출량 [m <sup>3</sup> /year]
회수천	HS.0	458.1	636	0.320	11.04	0.013	13,382	9,558
대포천	DP.1	368.3	636	0.290	50.19	0.015	51,137	36,526
동회수천	DHS.0	483.3	636	0.290	4.80	0.014	5,988	4,277
이천장물	LC.0	51.4	636	0.270	0.78	0.019	136	97
골세	KS.0	179.4	636	0.270	2.35	0.018	1,351	965

Table. IV-15 Estimate of soil erosion by single storm rainfall

구분	산정 지점	유역 면적 [ha]	R [10 <sup>7</sup> J/ha·mm/hr]		K [tonnes/ha/R]	LS	VM	토사침식량 [tonnes/storm]		토사유출량 [m <sup>3</sup> /storm]	
			50년	100년				50년	100년	50년	100년
회수천	HS.0	458.1	1,233	1,517	0.320	11.04	0.013	25,938	31,917	18,527	22,798
대포천	DP.1	368.3	1,233	1,517	0.290	50.19	0.015	99,125	121,964	70,803	87,117
동회수천	DHS.0	483.3	1,233	1,517	0.290	4.80	0.014	11,614	14,287	8,296	10,205
이천장물	LC.0	51.4	1,233	1,517	0.280	0.78	0.019	263	323	188	231
골세	KS.0	179.4	1,233	1,517	0.280	2.35	0.018	2,619	3,224	1,871	2,303

### 3.2 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량 산정

#### 1) 유사전달률

원 지점에서 침식된 토립자들은 흐름에 연행·이송되어 하류로 내려가다가 경사가 완만해 지는 곳이나 움푹 파인지점, 또는 장애물 등에 의해 중간에 퇴적될 수 있다. 이렇게 원 지점에서 침식된 토입자들 중 하류 일정 지점까지 내려오는 입자들의 비를 이른바 유사전달률이라 한다. RUSLE에 의해 산정된 토양침식량에 유사전달률(sediment delivery ratio)개념을 도입하여 유역출구의 토사유출량을 산정하였다. 유사전달률은 미국 교통연구단(TRB)에서 유역면적과 관계를 토립자의 크기에 따라 제시한 Fig. IV-5를 적용하여 산정하였으며 결과치를 Table. IV-16에 나타내었다.

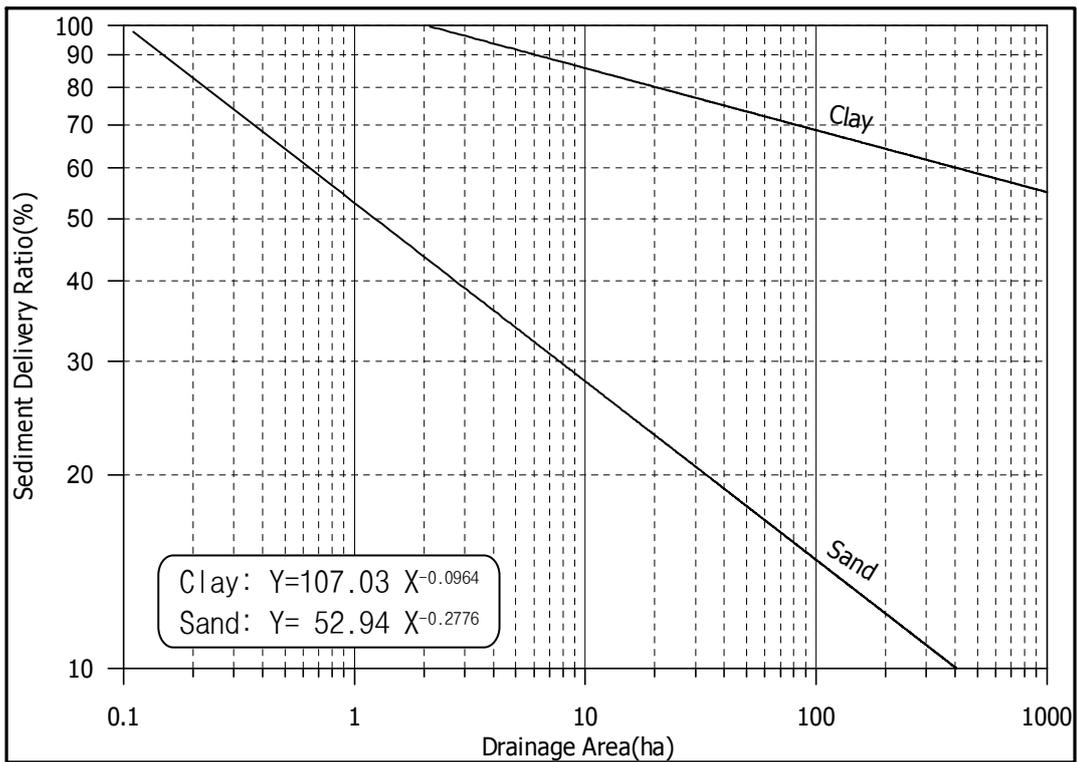


Fig. IV-5 Variable sediment delivery ratio between drainage area and soil type

Table. IV-16 Estimate of sediment delivery ratio

구분	유역	유역면적 (ha)	유역면적 (acre)	유사전달률(%)		가중평균전달률
				모래	점토	
회수천	HS.0	458	1,132	10	59	41
대포천	DP.1	368	910	10	61	42
동회수천	DHS.0	483	1,194	10	59	41
이천장물	LC.0	51	127	18	73	53
골세	KS.0	179	443	13	65	46

2) 퇴적토 단위중량(Specific weight of deposits)

저수지나 침사지에 포착되어 침전·퇴적된 토사는 저류공간을 매우게 되며 퇴사의 저류공간을 추정하기 위해서는 무게로 표시된 유사량을 퇴적토 단위중량을 이용하여 침사지 바닥에 침전된 퇴적토 부피로 환산하여야 한다.

연구과정에서의 퇴적토 단위중량산정은 Lane과 Koelzer(1953)의 아래와 같은 경험식을 이용하여 추정하였다.

$$S (t/m^3) = 0.82(P + 2)^{0.13}$$

$\gamma_s$ 는 보통 점토·실트의 경우  $1.0 t/m^3$ 이하이고, 모래의 경우  $1.65 t/m^3$ 까지 가능하며, 상기 경험식을 적용하면 결과 퇴적토의 단위중량은  $1.40 t/m^3$ 로 추정하였다.

3) 토사유출량 산정방법

RUSLE에 의해 산정된 유역의 토양침식량은 유역출구의 토사유출량과 차이가 있으므로 유사전달률의 개념을 도입하여 토양침식량에서 토사유출량을 산정하여야 한다. 또한 이와 같이 산정된 토사유출량은 중량단위(tonnes/year)이므로 단위중량을 산정하여 침사지 등의 용량 결정에 필요한 체적단위( $m^3/year$ )의 토사유출량으로 환산하는 것이 필요하다.

앞에서 산정된 토양침식량과 유사전달률 및 단위중량을 적용하여 토사유출량을 산정한 결과는 Table. IV-17과 같다.

Table. IV-17 Estimate of soil erosion and sediment

구분	산정 지점	유역면적 (ha)	토양침식량		유사 전달률 (%)	단위 중량 (ton/m <sup>3</sup> )	토사유출량	
			연평균 (ton/yr)	단일호우 (ton/storm)			연평균 (m <sup>3</sup> /yr)	단일호우 (m <sup>3</sup> /storm)
				100년				100년
회수천	HS.0	458.1	13,382	31,917	41	1.400	3,919	9,347
대포천	DP.1	368.3	51,137	121,964	42	1.400	15,341	36,589
동회수천	DHS.0	483.3	5,988	14,287	41	1.400	1,754	4,184
이천장물	LC.0	51.4	136	323	53	1.400	51	122
글세	KS.0	179.4	1,351	3,224	46	1.400	444	1,059

대상지역에서 각 산정 방법별로 발생하는 토사유출량을 산정하였으며, 원단위법에 의한 일본 사방설계 공식은 침식의 주요인자인 강우분포, 토양조건 및 지형 등에 대한 고려가 없으므로 단일호우 강우침식인자 R 값을 적용한 RUSLE 결과를 본 연구에서 채택하였다(Table. IV-18).

Table. IV-18 result of sediment

구분	산정 지점	유역면적 (ha)	토사유출량	
			연평균 (m <sup>3</sup> /yr)	단일호우 (m <sup>3</sup> /storm)
				100년
회수천	HS.0	458.1	3,919	9,347
대포천	DP.1	368.3	15,341	36,589
동회수천	DHS.0	483.3	1,754	4,184
이천장물	LC.0	51.4	51	122
글세	KS.0	179.4	444	1,059

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 국내 실무에서 많이 사용되고 있는 홍수유출 모형인 Nakayasu, NRCS, Clark, 합리식을 비교하여 계획홍수량을 산정하였으며, RUSLE 방법을 이용한 토사유출량을 추정하였다. 적합한 유출량 분석을 위하여 하천 및 하천유역을 고려한 지형, 수문인자들을 선정하여 모의하였으며 본 연구 결과에 대한 요약은 다음과 같다.

1. 대상 하천의 하류부 도심지에 미치는 영향을 모의하기 위해 유출량 산정지점은 하천의 종점이나 본류로 합류되는 곳을 선정하였으며 티센망을 이용하여 인근 서귀포기상대를 채택하고 대상 관측소의 기상자료를 이용하였다. 확률강우량 산정시 확률분포형은 Gumbel, 매개변수 추정방법은 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)를 채택하였으며 제주도 고도에 따른 실효강우량 비를 고려하여 1.005~1.111 범위의 강우보정계수를 적용하였다.

2. 확률강우강도식은 편차 및 상관계수를 검토하여 단·장기간 구분은 180분, 강우강도식은 Sherman형을 채택하였으며 시간별 강우량의 산정과 분포는 Huff 4분위의 중거값을 회귀분석하여 6차 다항식의 계수를 산출하였다.

3. 유효강우량 산정은 선행토양함수조건을 고려한 AMC-II를 적용하였으며 SCS 방법을 이용하여 유출곡선지수(Curve Number)를 산정하였다.

4. 홍수유출량 추정에 있어 Clark 유역추적법, Nakayasu 종합단위도, NRCS 합성단위도법, Kajiyama 극대홍수량법, 합리식, 고재웅식을 비교하여 기본홍수량을 산정하였으며 빈도 기준을 고려한 80~100년 빈도의 계획홍수량을 결정하였다. 기본적으로 전 연구대상하천의 설계빈도는 80년으로 선택하였으며 대포천은 하천 기본계획을 고려하여 100년으로 하였다. 소하천의 계획홍수량은 14.0~16.3 m<sup>3</sup>/sec로, 지방하천은 43~91 m<sup>3</sup>/sec로 산정하였다.

5. 토사유출량 산정은 RUSLE 방법을 이용하였으며 강우침식인자는 연평균과 단일호우에 대하여 각각 산정한 후 유역특성에 따른 토양침식인자, 지형인자, 토양침식조절인자를 결정하여 토양침식량을 산정하였다. 이에 유사전달률과 단위중량을 고려하여 100년 빈도에 대한 토사유출량을 산정하였으며 연구대상유역의 규모에 따라 122~36,589m<sup>3</sup>/storm의 차이를 보였다.

본 연구를 통해 서서귀수역 동부 5개 하천에 대한 홍수 및 토사유출량을 산정하였다. 전술하였듯이 이와 같은 연구는 하천재해로 인한 피해에 대처할 수 있는 방향을 제시할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 하천에 영향을 미칠 수 있는 사업이나 계획의 검토자료로 사용될 것으로 생각된다.

반면 대상하천의 하천정비기본계획 및 소하천정비계획의 수립년도가 과거인 점을 감안하면 추후 신규수립 및 변경구간에 대한 신중하고 면밀한 검토가 필요할 것이며 과거강우사상뿐 아니라 실측데이터를 이용한 비교·분석이 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 건설교통부, 2000a, 한국 확률강우량도 작성, 1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서, pp. 1~10
- 건설교통부, 2000b, 지역적 설계 강우의 시간적 분포, pp. 109~110
- 건설교통부, 2001, 자연친화적 하천정비기법개발, pp. 110~125
- 환경부, 2002, 하천복원 가이드라인, pp. 58~72
- 환경부, 2001, 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 1-6차년도 보고서 pp. 201~220
- 건설기술연구원, 2002, 장기 강우-유출모형 구조비교, 수자원의 지속적확보개발기술사업, pp. 85~96.
- 경기도 건설교통국, 2004, 자연친화적 하천정비 지침(시안), pp. 110~121
- 한국수자원학회, 2009, 하천설계기준·해설
- 국립방재연구소, 1998, 개발에 따른 토사유출량 산정연구, pp. 161~235
- 한국수자원공사, 2003.11, 하천자연도평가 지침, pp. 9~22
- 제주도·한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사 보고서, pp.186~201
- 제주도, 1993, 수자원종합개발계획수립 보고서
- 제주도, 1997, 중산간지역 종합조사
- 제주특별자치도, 2009, 하천수계별 유역종합치수계획
- 서귀포시, 2001, 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서
- 서귀포시, 2005, 서귀포시 소하천정비 종합계획 보완 보고서
- 서귀포시, 2007, 동홍천외 9개 하천 하천정비기본계획 보고서
- 기상청, 1999~2008, 기상연보
- 우효섭, 2001, 하천수리학, 청문각, pp. 843~844
- 양희경, 2001, 지형 및 인위적 변수에 의한 산지 하천의 분류, 서울대학교 박사학위논문, pp. 35~53
- 김규호, 이찬주, 이두한, 우효섭, 2004, 지형인자를 이용한 하천분류 체계의 적용성 검토, 한국수자원학회 제37권 제1호, pp. 1~11

- 우효섭, 2004, 국내하천사업의 진화와 전망 - 하천환경기능의 적극적 고려, 한국수자원학회 2004 학술발표회, pp. 8~15
- 정정화, 1995, 정밀토양도 토양통의 수문학적 분류
- 문덕철, 2004, 제주도 주요하천의 기저유출량 산정에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, pp. 1~5.
- 엄명진, 조원철, 임해욱, 2007, 지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정에 관한 연구, 2007 수자원학회 논문집, pp. 511~521.
- 김미령, 2003, 제주도 하천의 하계망 분석, 제주대학교 교육대학원 석사학위 논문, pp. 15~19.
- 김경탁, 2003, 정밀토양도에 이용한 CN 산정에 대한 제안, 한국수자원학회지 제 36권 4호, pp. 45~53.
- 이상원, 2011, 산지소유역의 토사유실량 예측을 위한 RUSLE 모형의 적용, 영남대학교 대학원 석사학위논문, pp.15~22
- 최재완, 2011 WEPP 모형을 이용한 강우패턴 및 경사에 따른 유출 및 토사 유출 평가, 강원대학교 대학원 석사학위논문, pp.29~42
- 유승혁, 2010, 설계홍수량 산정과정의 개선방안 연구, 서경대학교 대학원 석사학위논문, pp.2~5
- 류영용, 확률강우량과 실측유량을 이용한 홍수빈도해석의 비교분석, 인하대학교 대학원 석사학위논문, pp.2~4
- 김경욱, 기후변화에 따른 우이천 유역의 유출량 산정에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, pp.56~84
- 정중호, 홍수량 산정을 위한 실무적 방법의 개발, 고려대학교 대학원 박사학위논문, pp5~12

## 감사의 글

학부졸업 후 20여년만의 대학원진학, 수료는 했어도 직장생활이 바쁘다는 핑계로 졸업을 못해 몇 년간 전전공공하다 이제 졸업을 목전에 두어 감개가 무량합니다. 이제 돌이켜 보면 지나간 세월이 너무 쏠살같이 지나가 아쉬움이 있지만 그래도 하나를 완성했다는 기쁨으로 소중한 시간이었습니다.

본 논문이 완성되기까지 여러 차례 검토하고 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으신 양성기 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 논문심사 과정에서 바쁘신 가운데도 세심하게 검토하여 주신 제주발전연구원 박원배 박사님, 김남형 교수님께도 고마운 말씀을 드립니다.

지난 2여년간 해양토목분야에 대하여 강의하여 주신 수자원분야 양성기 교수님, 해안 및 해만공학 김남형 교수님, 측량 및 GIS 이병걸 교수님, 토목구조 김상진 교수님, 건설관리 및 토목시공 이동욱 교수님께도 다시한번 고마운 말씀을 드립니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 많은 시간과 노력을 함께 해준 수리학 연구실 연구원 특히 정우열님, 양원석님께도 감사를 드립니다.

돌이켜 보면, 배움의 길을 걷기에 직장인이 시간적 한계를 극복하고 학업에 정진한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니었습니다만, 잦은 잔업, 잦은회식 등에도 불구하고 직원 여러분이 성원해 주셨기에 이 논문이 좋은 결실이 될 수 있었습니다.

그리고 대학원 과정을 보람있고 활기차게 보낼 수 있도록 항상 따뜻하게 배려해준 산토목회, 11기원우, 12기원우, 물사랑회 등 여러 선후배님들께도 진심으로 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

끝으로 결혼 후 17년 동안 경제적으로 부유하지 못한 생활에도 우리 애들을 밝게 키우고 석사졸업시까지 물심양면으로 내조해준 사랑하는 아내 현금량, 아들 창운, 딸 승연, 서연이에게 본 논문을 바칩니다.

2012년 6월

오 윤 창 배상