



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

삼수천 유역 삼화지구 택지개발에 따른  
하천홍수량 산정과 부유토사 유출특성

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

梁 訓 哲

2011年 6月

삼수천 유역 삼화지구 택지개발에 따른  
하천홍수량 산정과 부유토사 유출특성

指導教授 楊 城 基

梁 訓 哲

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2011 年 6 月

梁訓哲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

2011年 6月

Evaluation of River Runoff and Suspended  
Sediment for Samhwa Residential  
Development of Samsu River Basin

Hun-Chul Yang

(Supervised by Professor Sung-Kee Yang)

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

2011. 6.

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	iv
그 립 목 차	vi
사 진 목 차	vii
Summary	viii
<b>I. 서 론</b>	<b>1</b>
1. 연구 배경 및 목적	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	2
<b>II. 연구대상 유역 및 연구</b>	<b>3</b>
1. 연구대상 유역	3
2. 연구내용	4
<b>III. 하천홍수량 산정</b>	<b>6</b>
1. 연구대상 유역과 하천의 개황	6
1.1 유역의 일반현황	6
(1) 유역의 개황	6
(2) 수계의 구성	6
1.2 유역의 특성	7
1) 유역의 평면적 특성	7
2) 유역의 입체적 특성	7

3) 유역의 지질 및 토양 .....	10
4) 토지의 자연현황 .....	12
5) 토지의 이용현황 .....	13
1.3 하도의 일반현황 .....	13
1) 하도현황 조사 .....	13
2) 하도의 평면형 .....	14
3) 하도의 종단형 .....	15
4) 하도의 횡단형 .....	15
2. 유역의 수문기상 현황 .....	16
2.1 수문조사 .....	16
1) 하천현황 .....	16
2) 기상현황 조사 .....	17
3. 유효 강우량 산정 .....	23
3.1 홍수량 산정지점 .....	23
3.2 강우량 분석 .....	25
1) 우량관측소의 선정 .....	25
2) 강우자료 수집 및 분석 .....	25
3) 확률강우량 산정 .....	30
4) 설계강우의 시간분포 방법 결정 .....	40
5) 유효강우량 산정 .....	42
4. 하천홍수량 산정 .....	45
4.1 홍수도달시간의 산정 .....	45
4.2 홍수량 산정 방법 결정 .....	47
1) 유역추적법 .....	47
2) SCS 무차원 단위도법 .....	51
3) Nakayasu(中安) 종합단위도 .....	52
4) kajiyama 극대홍수량법 .....	54
5) 합리식 .....	54
6) 고재웅식 .....	55

4.3 적정유출모형의 결정 .....	55
4.4 개발로 인한 침투홍수유출량 증감분석 .....	58
<b>IV. 부유토사의 유출특성 .....</b>	<b>59</b>
1. 부유토사 유출량 산출 .....	59
1.1 토사유출량 산출모형 .....	59
1.2 토사유출량 산출방법 .....	59
1) RUSLE 모형 .....	59
2) 침식능인자 R의 산정 .....	60
3) 침식성인자 K의 산정 .....	63
4) 사면경사인자(S)와 사면길이 인자(L) .....	65
5) 토양침식조절인자 VM의 산정 .....	67
6) 토양침식량 산정 .....	69
2. 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량 산출 .....	69
2.1 유사전달률 .....	69
2.2 퇴적토 단위중량 .....	70
2.3 토사유출량 산출 .....	71
3. 부유토사의 유출량 산출 .....	71
3.1 삼수천의 식생 .....	71
3.2 삼수천의 토사유출량 산출 .....	72
4. 하천 홍수유출에 의한 부유토사의 유출특성 .....	74
4.1 하천 홍수유출시 부유토사의 유출량 .....	74
4.2 부유토사의 연안해역 유입 .....	75
<b>V. 결론 및 제언 .....</b>	<b>77</b>
1. 결론 .....	77
2. 제언 .....	77
<b>참고문헌 .....</b>	<b>79</b>
<b>감사의 글 .....</b>	<b>81</b>

## 표 목 차

표 III-1 하천수계현황 .....	6
표 III-2 유역의 일반적 특성 .....	7
표 III-3 표고별 누가면적 구성비 .....	7
표 III-4 유역의 평균고도 및 평균경사 .....	9
표 III-5 토양종류별 특성 .....	11
표 III-6 하천유역별 수문학적 토양군 비율 .....	12
표 III-7 토지이용현황 .....	12
표 III-8 토지이용현황 .....	13
표 III-9 하도의 사행특성 .....	14
표 III-10 제주도 하천 개수현황 .....	16
표 III-11 제주관측소 기상현황 .....	18
표 III-12 제주관측소 월별 기상현황 .....	20
표 III-13 제주관측소 월 강우량 .....	21
표 III-14 우량 및 기상관측소 일람표 .....	25
표 III-15 제주관측소의 지속기간별 고정시간 연최대강우량 .....	26
표 III-16 국내 강우자료의 지속기간별 관계 .....	27
표 III-17 제주관측소의 지속기간별 고정시간 연최대강우량 .....	28
표 III-18 강우지속시간별 연최대치 자료계열의 기본통계값 .....	29
표 III-19 각 지속시간별 적정 활률분포형 .....	31
표 III-20 강우지속시간별 활률강우량 비교 .....	32
표 III-21 표고별 연평균 면적강우량 .....	33
표 III-22 표고별 연평균 면적강우량 .....	34
표 III-23 표고 보정 활률강우량 .....	35
표 III-24 강우지속기간별 활률강우강도 .....	37
표 III-25 단기간 활률강우도식 .....	38
표 III-26 장기간 활률강우도식 .....	39
표 III-27 제주지역 강우의 분위별 누가우량곡선의 증거 .....	41



표 III-28	제주지역 Huff 분위별 누가우량 회귀계수	42
표 III-29	수문학적 토양형의 분류	43
표 III-30	토양형별 토지이용별 유출곡선지수 채택치(AMC-II)	44
표 III-31	홍수유출량 산정지점별 CN 값	45
표 III-32	홍수도달시간 및 평균유속 산정결과	47
표 III-33	홍수도달시간 및 평균유속 산정결과	52
표 III-34	토지이용별 유출계수	55
표 III-35	산정방법별 침투홍수량 비교(100년 빈도)	57
표 III-36	침투홍수유출량 증감분석(100년)	58
표 III-37	관측소별 연평균 강우침식 인자, R	61
표 IV-1	강우침식능(R) 산정표(재현기간 50년)	62
표 IV-2	강우침식능(R) 산정표(재현기간 100년)	63
표 IV-3	토양의 구조 및 투수성 구분	64
표 IV-4	토양침식인자 (K)	65
표 IV-5	무차원 경사지의 거리 및 경사계수(LS)	67
표 IV-6	토양침식 조절인자, VM	67
표 IV-7	토양침식 조절인자 VM 산정	68
표 IV-8	정상강우년에 의한 토양침식량 산정	69
표 IV-9	단일호우시(TRB)에 의한 토양침식량 산정	69
표 IV-10	유사전달률	70
표 IV-11	토사유출량 산정	71
표 IV-12	삼수천의 토사유출량 산정	73
표 IV-13	제주도내의 지방하천 및 소하천의 토사유출량	74

## 그림 목 차

그림 II-1 지도에 의한 연구대상 위치 .....	4
그림 III-1 삼수천 표고 및 경사 분석도 .....	9
그림 III-2 삼수천 토양통도 및 토지이용도 .....	12
그림 III-3 제주도 하천 수계도 .....	16
그림 III-4 연도별 기상개황 .....	19
그림 III-5 월별 기온 현황 .....	20
그림 III-6 월별 강수량 .....	21
그림 III-7 월별 풍속분포 .....	22
그림 III-8 월별 상대습도 .....	23
그림 III-9 홍수량 산정지점도 .....	24
그림 III-10 고정시간-임의시간 환산계수 회귀곡선 .....	27
그림 III-11 표고별 강우량비 .....	35
그림 III-12 I-D-F CURVE (전시간) .....	37
그림 III-13 I-D-F CURVE (120분 이하) .....	39
그림 III-14 I-D-F CURVE (120분 이상) .....	40
그림 III-15 누가우량곡선(50%)의 회귀분석 결과 .....	41
그림 III-16 Clark 단위도 개념 .....	49
그림 III-17 SCS 무차원 단위도 .....	51
그림 III-18 Nakayasu의 무차원 단위도 .....	53
그림 III-19 유역면적과 토립자의 크기에 따른 유사전달률 .....	70
그림 IV-1 삼수천 기본계획도(변경) .....	73

## 사 진 목 차

사진 II-1 위성사진에 의한 연구대상위치 .....	3
사진 IV-1 위성사진에 의한 삼수천하구와 삼양 연안해역 .....	76



## Summary

Located in the northern center of Jeju-do, Samsucheon is a local river flowing through areas of Samyang-dong, Hwabuk-dong and Doryeon-dong, Jeju-si, Jeju Special Self-Governing Province. In lower reaches of the river, Jeju Samhwa Residential Development Project is currently under way in step with increase of housing demand, and fearing occurrence of outflow of stream and a substantial amount of floating soil in downstream Samsucheon, analysis of outflowing features of stream and soil has been conducted.

In its analysis, stream discharge and soil discharge have been estimated using SCS method and RUSLE method respectively. The development project caused peak flood volume increased by 5.86 m<sup>3</sup>/sec as a result of estimation of stream discharge in downstream Samsucheon with division of before, middle and latter part of the project. While soil discharge occurred 30,126 ton/storm in a single storm during the project. The analysis finds that settling basin and detention facilities of 41,700 m<sup>3</sup> in the project area could impound whole discharge of stream and soil coming from Samsucheon, effectively preventing flood disaster, and also finds effect of floating soil on coastal waters of Samyang is insignificant.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

#### 1.1 연구 배경

삼수천은 제주도 북부 중앙부에 위치하고 있으며, 행정구역상 제주특별자치도 제주시 삼양동, 화북동, 도련동 일대를 유과하는 지방하천이다. 이 하천의 하류부에는 난개발 방지 및 제주시권의 동·서간 균형적인 발전과 구역 내 택지의 안정적·효율적인 공급으로 택지수요증가에 대비하기 위하여 제주시 삼양동 일대 976.032m<sup>2</sup>(295,250평)의 삼화지구택지개발사업을 실시하여 주변지역의 제주시 3개 생활권 중 하나인 동부지역 생활권의 중심지로 조성하고 있다.

택지사업지구는 제주도 수역구분 중 동제주 수역에 속하며, 삼수천은 이 사업지구를 동서로 양분하면서 남쪽 한라산에서 북쪽 해안으로 유입되고 있다(한국토지공사·한국주택공사 : 2006, 한국토지공사·한국주택공사: 2009). 또한 이 하천의 동쪽에는 소하천인 음나물내가 위치하고 있다. 삼수천은 「제주시 하천정비기본계획」이 수립되었으며(제주시, 2005), 이 기본계획을 변경하는 「삼수천 하천기본계획(변경)」이 수립되어(제주시, 2008) 하천정비사업이 진행되었다. 하천기본계획의 수립은 이수, 치수 환경측면을 서로 연관성 있게 계획하고 있다(건설교통부: 2001, 환경부: 2001, 환경부: 2002).

일반적으로 유역의 홍수와 갈수피해를 경감시키고, 유수와 유로의 이용도를 향상시키며, 유역의 수자원개발 및 이용을 위해서는 각종 하천관련 자료들을 참고하며, 하천의 자연, 사회, 문화, 경제적 조건을 종합적으로 고려하여 유역 및 하천 정비사업계획을 수립하고 있다(경기도 건설교통국, 2004). 하천은 유역전체에 대해 체계적이며 효율적으로 종합계획 수립을 위해 사전에 충분한 현장조사, 검토 및 분석을 수행하였으며, 유역의 특성과 자연적 현황, 사회·문화적 현황, 하

천의 치수, 이수, 환경현황 등이 조사되었다(양: 2001, 김 등: 2004, 우:2004)

태풍이나 집중호우시 제주삼화지구 택지개발사업 공사 중 절토 및 성토 등으로 인한 토사가 삼수천 및 음나물내를 통한 다량의 부유토사가 발생할 우려가 있으며, 이때 유출되는 토사가 지구 하류부에 위치한 하구 및 삼양 수원지에 영향을 미칠 수 있는데 대해 연구대상지역 내의 침사지 또는 저류지 등을 설치함으로써 토사유출량을 최대한 저감 또는 예방할 수 있다. 또한, 하천유출에 의한 부유토사가 삼양 하류부 삼양해수욕장 부근에 위치한 삼양 제1,2,3 수원지의 수질에 대한 영향도 조사할 필요가 있다.

## 1.2 연구의 목적

연구는 지방하천인 삼수천의 하천유출량 산정과 삼화지구 택지개발사업으로 인한 부유토사 유출의 특성을 파악하고자 한다.

택지개발사업 공사 중 태풍이나 집중호우시 절토 및 성토 등의 부유토사가 삼수천 및 음나물내를 통하여 발생할 우려가 있어, 제주삼화지구 사업지구내에 설치·운영 중인 침사지와 저류지의 저류량을 검토하고, 하천을 통해 유출되는 부유토사의 양을 산출하여, 우기시 연구대상지역을 유과하는 지방하천인 삼수천의 부유토사 유출량 특성을 조사한 후, 연구대상지역 내에 설치·운영 중인 저류지의 저류량과 비교·검토를 통해서 저감·방지가 가능한지 여부에 대해 분석하고, 연안해역의 영향성을 검토하고자 한다.

## II. 연구대상 유역 및 연구내용

### 1. 연구대상 유역

제주특별자치도 제주시 삼양동, 도련동, 화북동 일원 976,032m<sup>2</sup>이며, <사진 II-1>, <그림 II-1>에서 위성사진과 지도에 의한 제주삼화지구 택지개발 사업지구 및 삼양 1,2,3 수원지부근의 위치도를 나타내었다.



<사진 II-1> 위성사진에 의한 연구대상 위치



<그림 II-1> 지도에 의한 연구대상 위치

## 2. 연구내용

이 연구에서는 제주시 북부 지역에 위치하고 있는 삼화택지개발사업 지구내를 유과하거나 인근 하천으로서 평상시 및 집중호우시 절토 및 성토 등의 공사로 인한 부유토사 유출의 양을 산정한다.

조사대상인 삼수천의 개황과 유역의 특성을 조사하였다. 여기에는 유역의 평면적 특성, 유역의 입체적 특성, 유역의 지질 및 토양, 토지의 자연 및 이용현황을 조사하였다. 또한, 하도의 평면형, 종단형, 횡단형과 유역의 수문기상 특성 및 하천과 기상 현황을 조사하였다. 유효 강우량 산정시 홍수량 산정지점, 강우량 분석과 확률강우량 산정, 설계강우의 시간분포 방법 결정, 유효강우량을 산정하였다.

하천홍수량 산정시 홍수도달시간의 산정, 홍수량 산정 방법 결정, 적정유출모형의 결정과 개발로 인한 침투홍수유출량 증감분석을 실시하였다. 부유토사의 유출 특성을 파악하기 위하여 부유토사 유출량, 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량 및 유사전달률과 토사유출량을 산정하였다.

또한, 사업지구내 절토·성토시 발생하는 부유토사가 사업지구내를 유과하는



삼수천을 통하여 유출되는 부유토사량과 사업지구내에 설치·운영 중인 침사지와  
저류지의 저류량을 검토하여 최종 하천을 통해 유출되는 부유토사의 양을 산정  
하고 하천 홍수유출시 부유토사의 유출을 조사하였다.

### Ⅲ. 하천홍수량 산정

#### 1. 연구대상 유역과 하천의 개황

##### 1.1 유역의 일반현황

##### 1) 유역의 개황

삼수천은 한라산 개월오름 서측에 위치한 EL.740m고지에서 발원하며, 제1지류로 대용소천이 EL.170m지점의 봉개동이 연구하천의 합류점으로 유로연장 13.78km, 유역면적 18.65km<sup>2</sup>로 삼양동 해안으로 유출되는 하천 형태를 보이고 있으며, 유역의 형상은 지류가 거의 없는 수지상에 가까운 하천형태를 보이고 있다. 하천 인근으로는 하류부에서는 주거지가 분포하며 상류로 가면서 과수원이 분포하고 있다. 하천 제방은 하류부 및 제방상부로 도로가 개설된 지역에서 옹벽의 형태를 나타내고 있으며, 상류로 갈수록 자연제방 및 돌쌓기의 형태가 주로 나타나고 있다. 건천으로 하상은 주로 큰 돌과 자갈이 주를 이루고 있다.

##### 2) 수계의 구성

동일유역에 속하고 공통의 하구를 가진 모든 유로를 총칭하여 수계(Drainage System)라고 하며, 연구대상 하천인 삼수천의 수계현황은 다음 <표 Ⅲ-1>와 같다.

<표 Ⅲ-1> 하천수계현황

하천명	수 계			하천의 구간		하천 연장 (km)
	분류	제1지류	제2지류	기점	종점	
삼수천	삼수천			제주시 용강동 74 번지선	제주시 삼양동 2445 번지선	13.0

## 1.2 유역의 특성

### 1) 유역의 평면적 특성

유역의 평면특성은 하천의 유출특성, 특히 유출규모를 파악하는데 중요한 인자로서 유역면적, 유로연장, 유역 평균 폭 및 형상계수 등으로 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 첨두홍수량이 크게 발생된다. 반면에 형상계수가 작으면 유출의 집중성향도 약해져서 첨두홍수량이 비교적 적게 나타날 것으로 예측할 수 있다.

하천밀도는 본류와 지류를 포함한 전체 하천의 총 길이를 유역면적으로 나누어 값이며 유역내의 지류가 많고 적음을 정량적으로 나타낸다. 연구지역 내의 하류부 하천에 대한 유역면적, 유로연장, 유역평균폭, 형상계수는 다음과 같다<표 III-2>.

<표 III-2> 유역의 일반적 특성

하 천	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L	형상계수 A/L <sup>2</sup>
삼수천	17.68	13.78	1.283	0.093

### 2) 유역의 입체적 특성

유역의 입체적 특성 결정 인자로는 하천경사, 유역경사, 표고별 면적분포 등으로 유출특성, 특히 홍수의 도달시간을 결정하는 주요인자로 NGIS 수치지도를 이용한 Arcview 모형의 수치표고(DEM) 분석으로 산정한 하천의 입체적 특성은 다음과 같다.

표고별 면적분포는 고도에 따라 변하는 강우, 증발, 식생, 수문사항 등에 영향을 미치는 인자인 바, 각 하천별 표고별 누가면적 구성비는 <표 III-3>과 같다.

<표 III-3> 표고별 누가면적 구성비

하천명	표 고 (EL. m)								
	≥1,600	≥1,400	≥1,200	≥1,000	≥800	≥600	≥400	≥200	≥0
삼수천	-	-	-	-	0.13	1.70	6.42	10.70	18.65

가. 유역평균고도

유역의 평균고도는 교점법에 의해 구하며 교점법을 약술하면 다음과 같다. 유역의 지형도를 촘촘한 눈금의 그래프용지로 덮고 눈금과 일정한 간격으로 교차되는 점의 등고선에 대한 고도의 누계를 구한다음 그 교점의 수로 나누면 유역의 평균고도가 된다.

$$h_m = \frac{\sum h}{\sum N}$$

여기서,

$h_m$  : 유역의 평균고도 (EL. m)

$h$  : 그래프선과 교차되는 등고선의 고도 (EL. m)

$N'$  : 그래프선과 등고선의 교차지점

삼수천의 평균고도는 EL. 296.3m 로 나타났다.

나. 유역의 평균경사

유역의 평균경사는 유출, 토사의 침식등과 관계가 깊은 인자로서 연구 대상 지역에서는 Horton의 방법으로 유역의 평균경사를 구하였으며 Horton의 방법을 약술하면 다음과 같다.

우선 해당 지역의 지형평면도를 매우 촘촘한 눈금의 그래프용지로 덮고 고도차  $\Delta H$ 인 등고선을 기입하고 등고선과 그래프 선과의 교점을 표시한 후 그 교점의 총수를  $N$ 이라하면, 서로 인접한 등고선사이에 끼는 그래프선의 선분 수는 (분수계와 그래프 선과의 교점은 0.5개로 계산하여  $N$ 중에 포함시키면)  $N$ 개가 된다. 또 이들 선분의 길이를  $l$ 이라 하고 이 선분과 등고선 사이의 각을  $\alpha$ 라 하면 등고선 간격은  $l \sin \alpha$ 이다. 그러므로 등고선의 수평거리  $d = \frac{1}{N} \sum l \sin \alpha$ 로 된다.

Horton은  $N$ 를 충분히 많이 취하면  $\alpha$ 는  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지 균일하게 분포되어 있는 것으로 가정하고  $\sin \alpha$ 를 평균하여

$$d = \frac{\sum l}{N} \cdot \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha d\alpha = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sum l}{N}$$

을 얻었다.

그러므로 유역의 표면경사는 다음과 같이 표시된다.

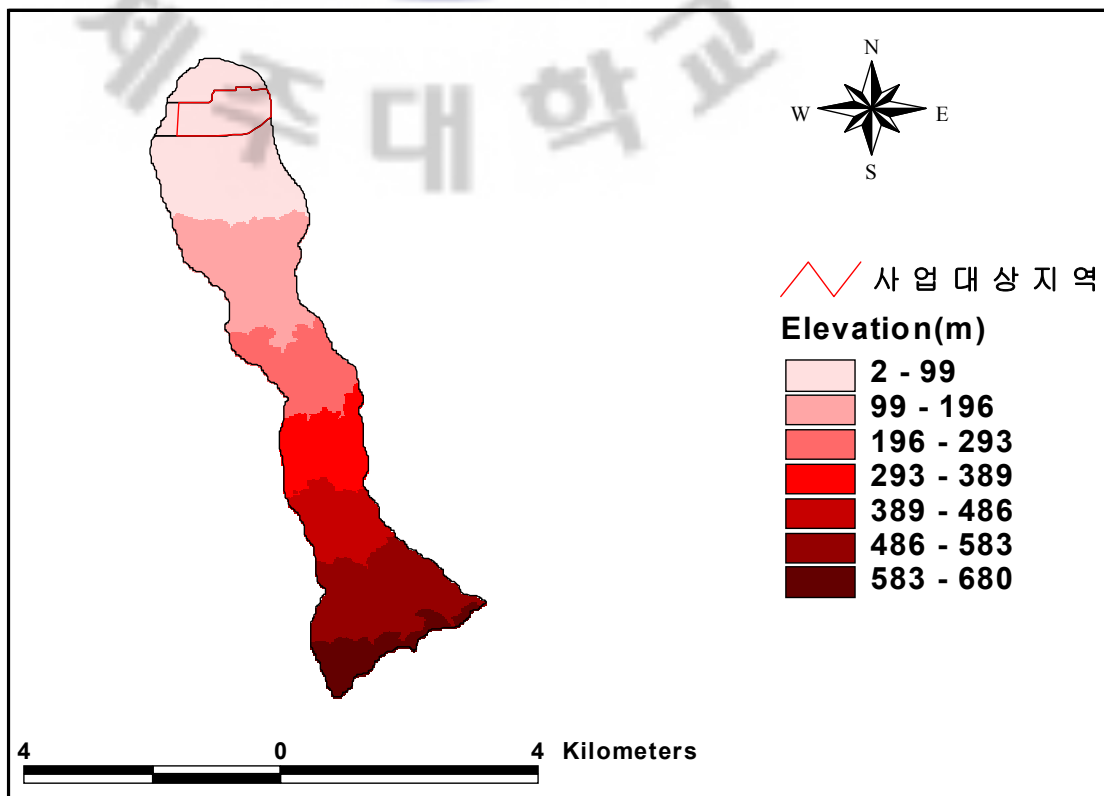
$$J = \frac{\Delta H}{d} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta H \cdot N}{\sum \ell}$$

- 여기서
- J : 유역의 평균경사
  - $\ell$  : 등고선사이에 끼인 선분의 길이
  - $\Delta H$  : 등고선 간격
  - N' : 등고선과 그래프선과의 교차점

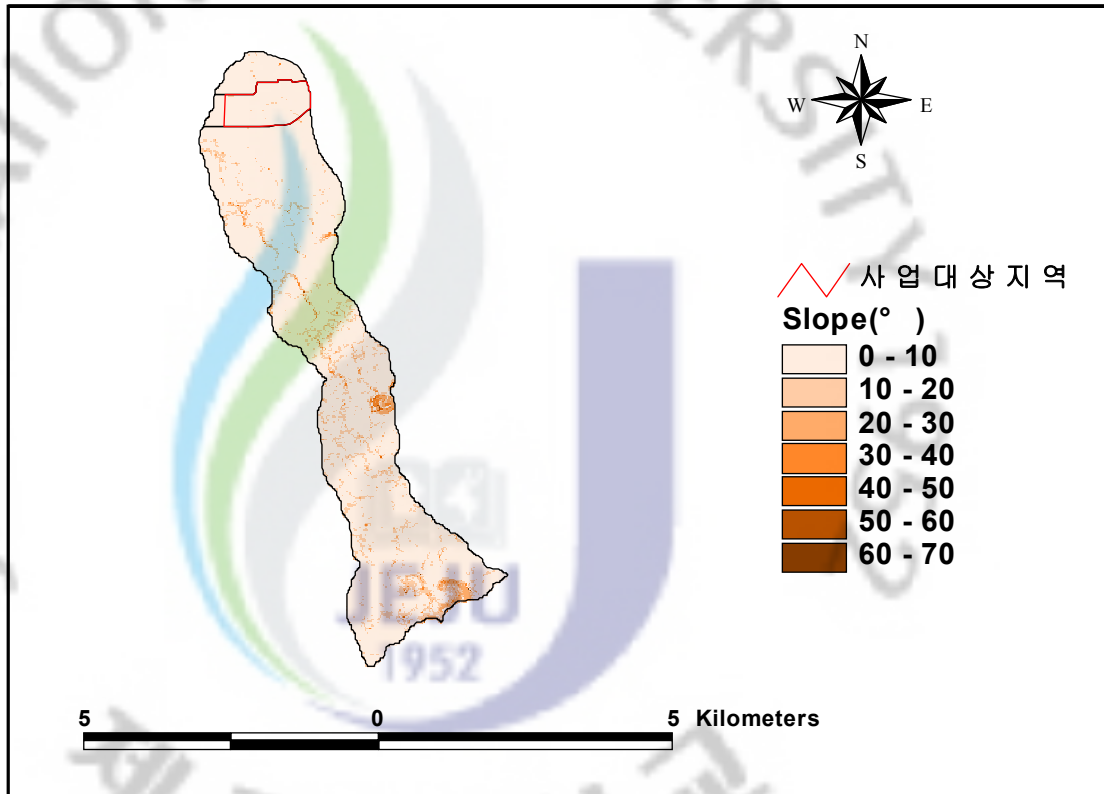
삼수천 유역의 평균 경사는 4.88% 로 나타났다<표 III-4>.

<표 III-4> 유역의 평균고도 및 평균경사

하천명	평균고도 (EL.m)	평균경사 (%)	비고
삼수천	296.3	4.88	지방하천



<그림 III-1> 삼수천 표고 및 경사 분석도 (계속)



<그림 III-1> 삼수천 표고 및 경사 분석도

### 3) 유역의 지질 및 토양

#### 가. 지질

제주도는 한반도의 서남단에서 약 90km 떨어져 있으며 동지나해의 북단에 위치한 한국 최대의 섬으로 화산도서 N70° E의 장축을 가지고 동남 약 73km인 타원형으로 섬 중앙에 1,950m의 한라산을 중심으로 원추형의 순상화산을 이루며 장축인 동서방향은 매우 완만한 사면인 3° ~ 5° 를 이루고 단축인 남북방향은 급한 경사로 5° ~ 7°를 갖는 순상화산에서 나타나는 Aspite 화산으로 경위도상으로 동경 126° 08' ~ 126° 58', 북위 33° 06' ~ 33° 00' 사이에 위치하고 있다.

연구 대상 지역의 지질은 대부분 현무암으로 되어 있는바 전체 면적의 약 56.5%가 장석 현무암, 약 33.3%가 반상휘석 현무암이며 비현정질 현무암이 4.0%, 계상장석 감람석현무암이 1.1% 분포하며, 나머지 약 5.1%가 조면암질 안산암과 신더어콘으로 구성되어있다. 하천별 분포 현황을 살펴보면 하천의 상류부인 표고 약 400m이상은 주로 장석현무암으로, 중·하류부는 반상휘석현무암으로, 하류부는 장석현무암으로 분포도를 보이고 있으며 하천 유역내에 여러 군데의

신더어콘이 형성되어 있다. 상기의 내용은 “한국자원연구소”에서 발행하는 제주 지역의 지질도를 인용하였다.

나. 토양

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 <표 III-5>과 같으며, 분석을 통한 하천유역별 수문학적 토양군 비율은 <표 III-6>과 같다.

<표 III-5> 토양종류별 특성(수문학적 토양군)

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

<표 III-6> 하천유역별 수문학적 토양군 비율

하천명	분류	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	비고
삼수천	A	3.62	20.48	
	B	3.78	21.38	
	C	9.94	56.22	
	D	0.36	2.04	
	합계	17.68	2.03	

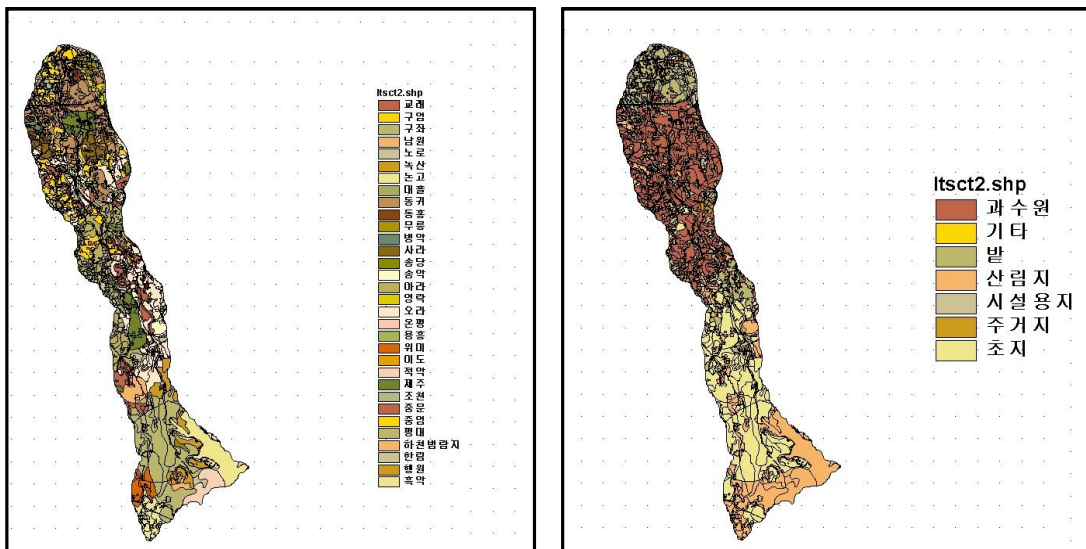
4) 토지의 자연현황

삼수천 유역의 대부분은 산지와 과수원이고 하천별 토지이용현황은 <표 III-7> 및 <그림 III-2>과 같다.

<표 III-7> 토지이용현황

(단위 : km<sup>2</sup>)

하천명	유역면적	과수원	기타	밭	산림지	시설용지	주거지	초지
삼수천	17.67	4.67	0.47	2.80	4.42	0.37	0.34	4.60



<그림 III-2> 삼수천 토양통도 및 토지이용도



### 5) 토지의 이용현황

제주시의 면적은 977.76km<sup>2</sup>로 총 19개 동과 4읍, 3면으로 구성되어 있다. 제주시의 토지이용 현황은 총 977.76km<sup>2</sup>중 농경지가 275.92km<sup>2</sup>(논 3.11km<sup>2</sup>, 밭 211.75km<sup>2</sup>, 과수원 61.07km<sup>2</sup>)로 28.22%, 목장용지가 109.42km<sup>2</sup>로 11.19%, 임야가 462.21km<sup>2</sup>로 47.27%를 각각 차지하고 기타 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 잡종지 등이 130.21km<sup>2</sup>로 13.21%를 점하고 있다.

삼수천의 토지이용 현황은 다음 <표 III-8> 와 같으며 임야가 9.86km<sup>2</sup>으로 면적의 52.87%를 차지하며 전이 7.64km<sup>2</sup>으로 전체의 40.97%를 차지하는 것으로 조사되었다.

<표 III-8> 토지이용 현황

구 분	총면적	주거지	공업지역	상업지역	밭	논	공원	임야	비고
삼수천	18.65	1.00	-	-	7.64	-	0.15	9.86	

## 1.3 하도의 일반현황

### 1) 하도현황 조사

하도란 하천의 구성요소로 물과 토사를 소통시키는 제방을 포함한 수로를 의미한다. 따라서, 근본적으로 하도는 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 의하여 빚어진 결과라 할 수 있다. 하도의 주된 기능은 유역에 내린 강우 유출량을 안전하게 배제시키는 것이며, 더불어 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.

## 2) 하도의 평면형

하천은 평면 형태에 따라 직류하천, 사행(곡류)하천, 다지(망상)하천으로 구분된다. 직류하천은 상당한 길이의 하천구간에 걸쳐 곡선 하도가 없고 계속되는 하천을 말하며, 사행(곡류)하천은 상당한 길이의 하천구간에 걸쳐 하도가 곡선을 이루는 하천이고, 다지(망상)하천은 하천경사가 급하고 하천 수심은 얇은 여러 줄기로 구성된 하도망을 말한다. 이러한 관점에서 볼 때 연구 대상 하천은 사행(곡류)하천의 형태를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

유수의 흐름에 의해 발생하는 유수력은 상대적으로 낮고 연약한 부분을 따라 흐르게 되며, 이로 인해 자연스럽게 하천평면형이 형성되고 이는 시간이 경과함에 따라 사행 현상을 유발하면서 흐르게 된다. 하도의 사행현상은 하도의 평면형을 결정짓게 되고, 만곡현상이 진행되어 불필요한 치수상의 문제점을 발생시키는 원인이 되기도 한다.

이러한 하천의 사행특성을 나타내는 인자인 사행과장, 하천만곡도 등을 사행이 발생하는 구간에 대하여 조사하였으며, <표 III-9>과 같다. 하천만곡도(tortuosity)는 어떤 하천의 전체 하천연장 중에서 얼마만큼의 만곡부를 포함하고 있는지를 표시하는 척도로 다음과 같다.

$$T(\text{하천만곡도}) = L_m / L$$

$L_m$  : 만곡부하천연장

$L$  : 하천전체연장

<표 III-9> 하도의 사행특성

하 천	하천연장 (m)	만곡부 하천연장 (m)	만 곡 도	비 고
삼 수 천	4,660	2,285	0.490	

### 3) 하도의 종단형

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

평형하상경사는 하상에 대하여 외력으로 작용하는 소류력과 내력으로 작용하는 하상물질의 마찰력이 평형이 되어 상류로부터 유송되어 퇴적하는 토사량과 그 구간에서 하류로 유송되는 토사량이 평형을 이루는 상태의 경사를 의미한다.

그런데 전술한 평형하상경사를 산정하기 위해선 우선 하상물질을 채취하고 이를 분석하여야 하는데 연구대상 하천은 하상이 대부분 암반으로 구성되어 있어 하상물질의 채취가 불가능하며 또한 하상상태도 대체적으로 평형상태에 있는 것으로 판단된다.

### 4) 하도의 횡단형

하도의 횡단형은 크게 단단면형과 복단면형, 복복단면형으로 구분할 수 있다. 단단면형은 유량이 작은 중·소규모의 하천에서 주로 나타나며, 복단면형과 복복단면형은 비교적 유량 규모가 큰 중·대규모의 하천에서 나타난다.

하도의 횡단형은 일정한 단면에 대하여 최대로 유량을 소통할 수 있도록 하도의 통수기능을 최대로 하되 이에 따른 소요비용을 최소로 하기위해서 하도단면은 가능한 한 주어진 단면적에 대하여 윤변이 작게 되는 것을 택하여야 한다. 이런 측면에서 볼 때 하도단면은 복단면보다 단단면이 유리하나, 우리나라와 같이 하상계수가 큰 경우에는 하천관리 측면에서 복단면이 유리하다. 따라서 하도의 횡단형은 저수시 하도관리와 홍수시 제방의 안전성 등을 고려하여 결정되어야 한다.

연구대상 하천에 대한 하도의 횡단형을 살펴보면 대부분의 구간이 단단면으로 구성되어 있으며 일부구간에서 편복단면이 나타나는 것으로 조사되었다.

## 2. 유역의 수문기상 현황

### 2.1 수문조사

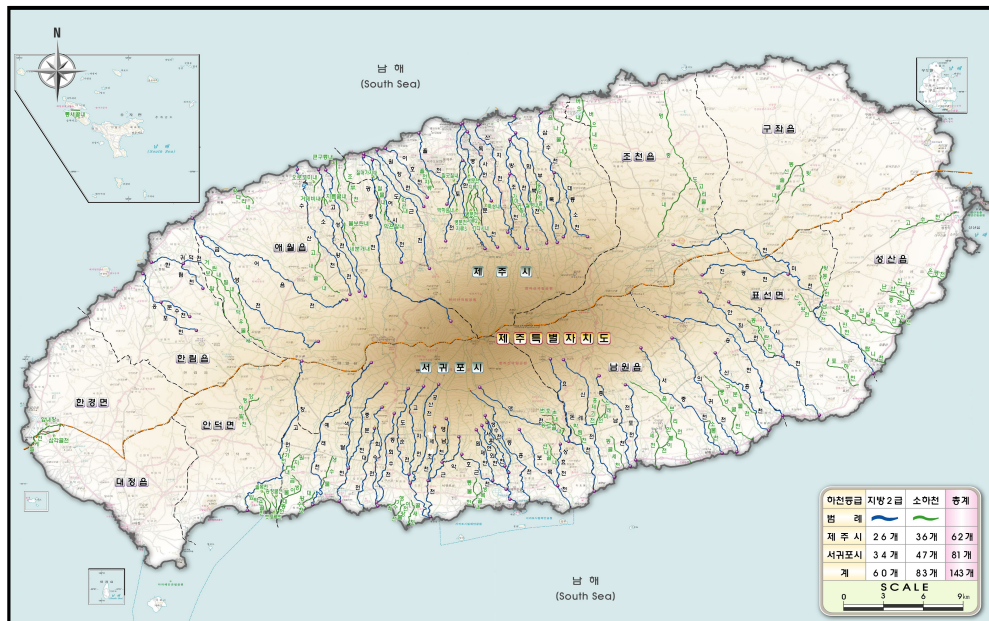
#### 1) 하천현황

제주도의 하천은 한국하천일람(건설교통부, 2005.12)의 자료에 의하면 전국 지방2급 이상 하천의 개수율은 80.1%로 조사되었으며, 제주특별자치도는 63.8%로 전국평균보다 낮은 개수율을 보이고 있으며, 연구대상지역이 속한 제주시의 경우에는 61.7%로 제주특별자치도의 평균개수율에 미치지 못한다.<표 III-10>.

<표 III-10> 제주도 하천 개수현황

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	
제주특별자치도	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)



<그림 III-3> 제주도 하천 수계도

## 2) 기상현황 조사

제주특별자치도는 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 위도대이며 여름에는 태양의 북상으로 열대기단의 영향권에 들기도 한다.

주위의 해륙분포를 보면 지구에서 가장 넓은 태평양의 가장자리인 북서태평양 속에 있으면서 아시아 대륙에서 멀리 떨어져 있어 다습한 해양의 영향을 받고 있다. 일년내내 남서쪽에서 흘러드는 따뜻한 적도해류의 지류인 쿠로시아 난류의 영향을 받고 있으며 겨울에 북쪽에서 흘러오는 북한해류나 황해의 찬 연안류 같은 한류의 영향을 직접 받지 않는다고 볼 수 있다. 제주특별자치도 주변 해상의 해수면 온도는 위도권에 거의 평행하여 남쪽으로 갈수록 높아지는 경향이며 계절과 함께 변하는데 제주특별자치도 북쪽해상(남해안까지)은 가장 낮을 때인 2~3월에 8~14°C, 가장 높을 때는 8~9월에 24~26°C로 교차가 크다. 한편 제주특별자치도 남쪽해상(33°N 부근까지)은 낮을 때 15~16°C, 높을 때 27~28°C의 분포가 된다(자료: 1966~1995, 국립수산진흥원).

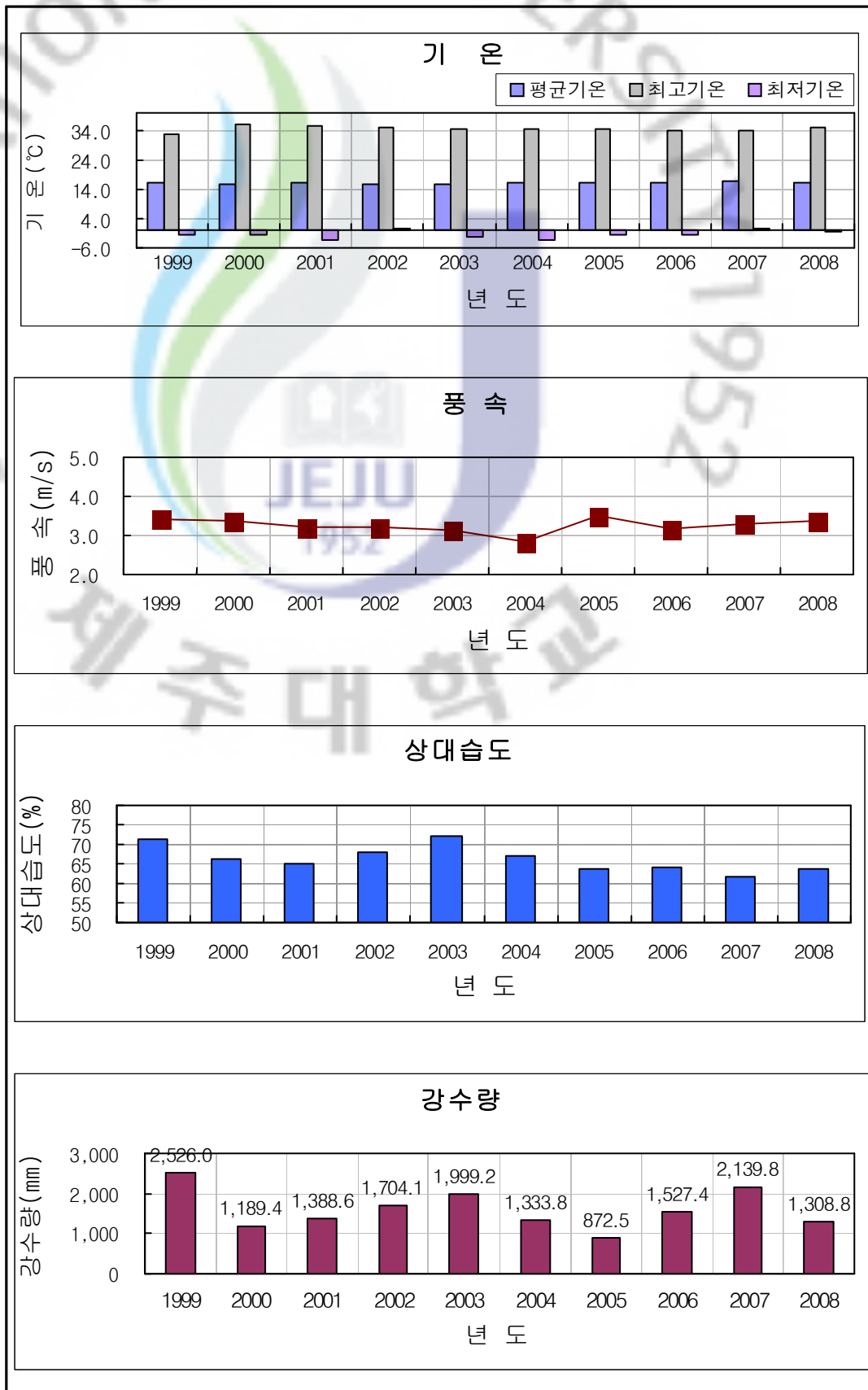
위와 같은 지리적, 기후학적 원인으로 주로 난기단인 해양성 열대기단과 대륙성 열대기단의 영향을 받고 있으며 겨울철에도 북서쪽 대륙성기단의 직접적인 영향보다는 해양을 지나면서 약화되어 변질된 찬기단의 영향을 받고 있다. 봄과 가을에는 주기적으로 화남지방에서 이동해 오는 기압골과 이동성고기압의 영향을 받는 경우가 많으며 남서몬순의 영향을 제일 먼저 받는 곳으로서 장마와 북상하는 태풍의 길목에 있기도 하다.

연구 구간은 제주기상청관할 제주기상청이 인근에 위치하고 있으며, 자료의 신뢰성 확보를 위해 10개년치의 제주 기상자료를 이용하여 <표 III-11>와 <그림 III-4>과 기상현황을 나타내었다.

<표 III-11> 제주관측소 기상현황

구분		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	평균
기온 (℃)	평균	16.0	15.7	16.1	15.8	15.7	16.4	16.2	16.2	16.5	16.0	16.1
	최고	32.8	36	35.8	35	34.3	34.3	34.7	34	34	34.8	36
	최저	-1.6	-1.7	-3.1	0.6	-2.1	-3.2	-1.5	-1.8	0.8	-0.5	-3.2
강우량 (mm)		2526	1189. 4	1388. 6	1704. 1	1999. 2	1333. 8	872.5	1527. 4	2139. 8	1308. 8	1598. 9
풍속 (m/s)	평균	3.4	3.4	3.2	3.2	3.1	2.8	3.5	3.2	3.3	3.4	3.3
	최대 풍속	22.3	17.9	19.5	18.3	39.5	17.2	16.2	15.1	24.8	12.7	39.5
	방향	NNE	N	N	NNE	N	N	NW	NW	SW	NE	N
상대습도 (%)		71.2	66.3	65.0	67.8	72.1	67.0	63.6	64.3	61.8	63.8	66.3
천기일 수 (일)	맑음	47	62	38	46	42	84	50	61	55	48	53.3
	흐림	162	126	124	136	145	110	99	125	135	140	130.2
	안개	26	13	18	24	9	11	11	23	13	21	16.9
	서리	4	3	2	9	2	5	5	5	1	0	3.6
	결빙	10	20	18	7	13	10	24	16	2	0	12
	눈	17	18	16	11	14	20	33	12	9	10	16

※자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)



<그림 III-4> 연도별 기상개황

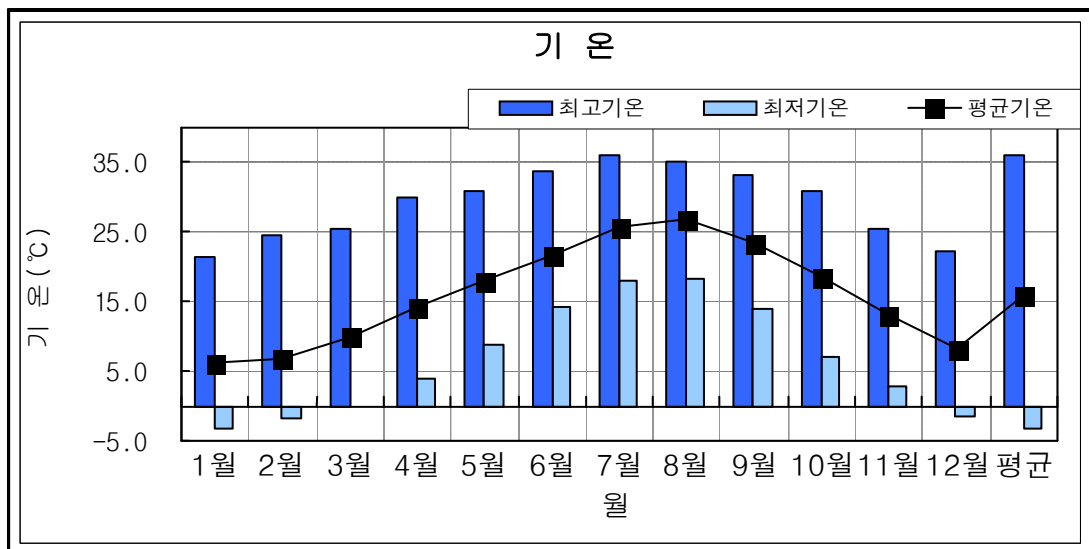
<표 III-12> 제주관측소 월별 기상현황

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균	
기온 (°C)	평균	6.3	6.7	9.9	14.3	17.9	21.7	25.8	26.9	23.4	18.6	13.1	8.3	16.1
	최고	21.4	24.5	25.3	30.1	30.8	33.7	36.0	35.0	33.1	30.7	25.5	22.1	36.0
	최저	-3.2	-1.8	-0.1	3.9	8.8	14.1	17.8	18.2	13.9	6.9	2.8	-1.5	-3.2
강우량 (mm)	79.9	57.1	74.9	62.0	118.4	159.3	273.3	281.1	304.8	69.5	59.4	59.3	133.2	
풍속 (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	3.3
	최대	16.3	17.0	19.5	16.7	14.0	15.7	19.6	22.3	39.5	11.4	12.5	19.5	39.5
	풍속													
상대습도 (%)	62.6	60.2	59.8	61.3	67.5	74.4	76.4	73.3	73.4	64.4	60.8	61.4	66.3	

※자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)

(1) 기온

기온은 평균, 최고, 최저로 구분하여 분석하였으며, 분석기간(1999~2008)내의 제주 관측소의 평균기온은 16.1°C, 최고기온은 36.0°C, 최저기온은 -3.2°C 이다.



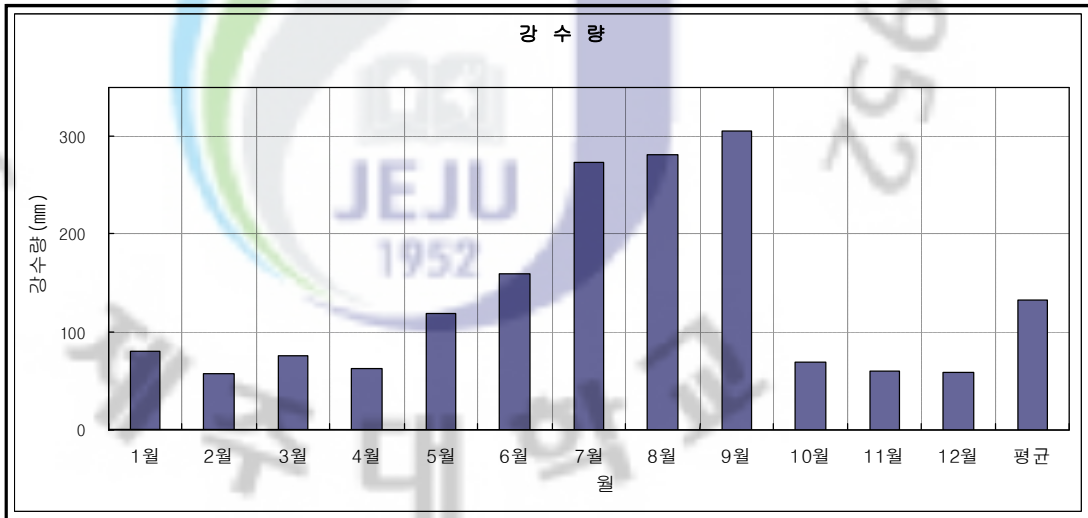
<그림 III-5> 월별 기온 현황



(2) 강수량

10년간 연평균 강수량은 1,599mm 이며, 최저는 2005년 872.5mm이며, 최고는 1999년 2,526mm 로 나타났다. 월평균 강수량은 <표 III-13>과 같이 가장 많은 9월은 304.8mm이고, 가장 적은 12월은 59.3mm이었으며, 하기인 7~9월(장마철)의 강수량은 859.2mm로 전체강수의 약 53.7%를 차지하고 있다.

<그림 III-6>은 월별 평균 강우분포를 보여주고 있다.



<그림 III-6> 월별 강수량

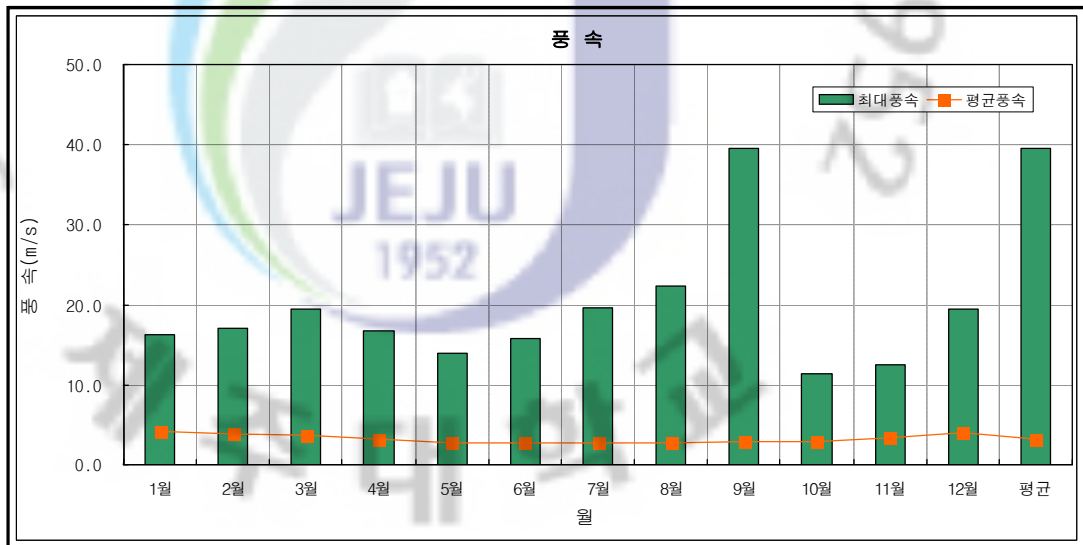
<표 III-13> 제주관측소 월강수량

연도 (년)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1999	84.0	62.4	110.4	37.5	79.0	204.0	706.0	642.8	508.0	41.2	24.9	25.8	2526.0
2000	60.0	16.3	43.5	32.8	46.2	97.6	166.2	169.6	331.2	113.0	93.2	19.8	1189.4
2001	117.0	81.9	21.9	62.6	105.4	259.7	123.1	233.9	109.7	123.8	42.0	107.6	1388.6
2002	56.6	33.8	59.4	65.1	141.6	118.6	495.7	356.5	143.9	112.3	18.2	102.4	1704.1
2003	55.9	64.4	164.0	120.9	284.3	201.9	362.2	245.1	330.4	37.6	112.5	20.0	1999.2
2004	40.6	48.0	57.7	55.5	124.8	66.1	55.7	405.1	348.5	24.9	51.5	55.4	1333.8
2005	47.0	98.3	84.6	33.5	52.8	11.5	120.7	217.6	9.0	26.1	92.5	78.9	872.5
2006	57.0	73.5	43.8	88.4	163.7	271.6	338.7	64.8	261.0	19.3	83.6	62.0	1527.4
2007	124.5	61.0	86.2	38.1	50.8	101.9	302.8	231.7	880.0	167.5	2.6	92.7	2139.8
2008	156.8	31.0	77.5	85.7	135.0	260.5	61.5	243.7	126.3	29.3	73.3	28.2	1308.8
월평균	79.9	57.1	74.9	62.0	118.4	159.3	273.3	281.1	304.8	69.5	59.4	59.3	1599.0

\*자료 : 기상연보(1999~2008년, 기상청)

### (3) 풍속

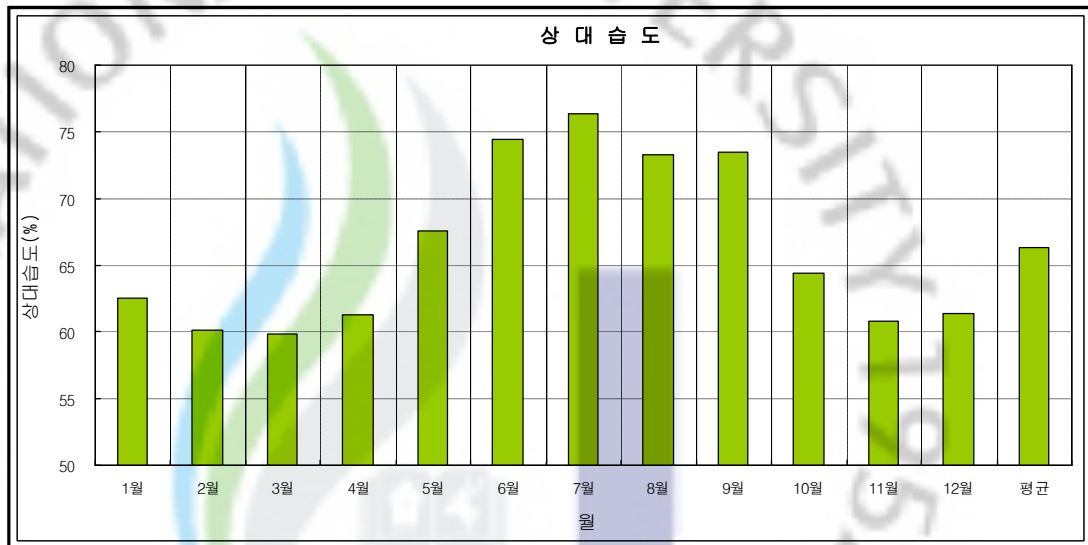
제주관측소의 분석된 최근 10년 내의 최대풍속은 2003년에 발생한 풍속 39.5 m/sec이고, 연평균 풍속은 3.3 m/sec 이다. 연구지역은 연평균 풍속은 3.3m/sec로서 월평균 최고풍속은 3.26m/sec로 나타났다. 연구대상지역의 주풍방향은 남서풍과 북동풍 계열이며, 계절별로 봄에는 균일한 분포를 보이거나 북서풍이 약간 우세하게 나타나고 있으며, 여름에는 남서풍과 서풍이 높게 나타나고 있고, 가을과 겨울에는 북풍 및 북서풍의 북풍계열이 우세하게 있는 것으로 조사되었다.



<그림 III-7> 월별 풍속분포

### (4) 상대습도

제주관측소의 연평균 상대습도는 66%, 다습기인 7월에 비교적 높게 나타났으며, 건조기인 3월에 낮게 나타나 비교적 상대습도의 차가 큰 것으로 조사되었다. 연평균 상대습도는 66%이며, 여름철(7월)에 76%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 겨울철과 초봄에(12~3월)에는 60~63%로 낮은 분포를 보이고 있는 것으로 나타났다.

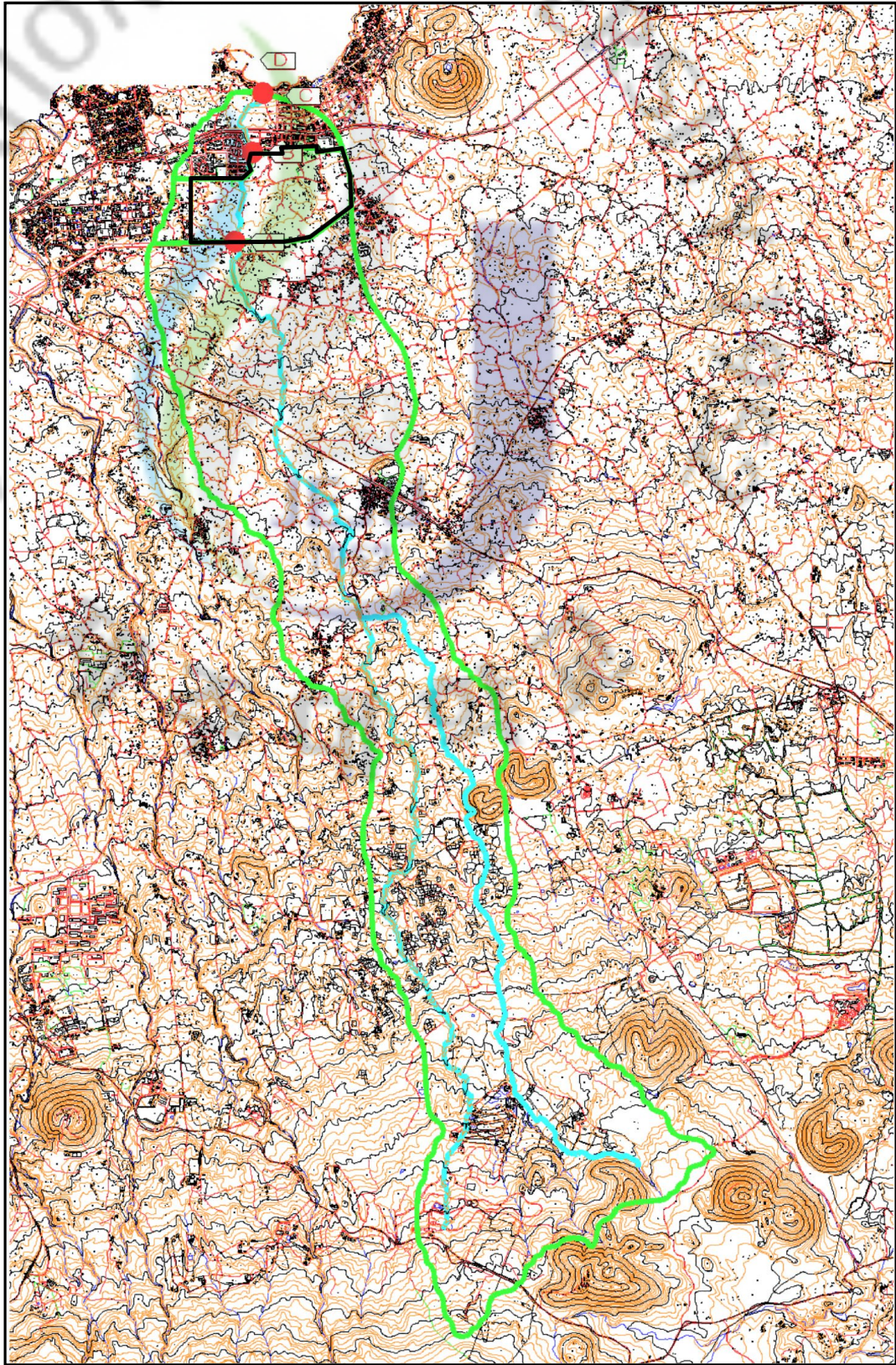


<그림 III-8> 월별 상대습도

### 3. 유효 강수량 산정

#### 3.1 홍수량 산정지점

홍수량의 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 차선책으로 강수량 및 유역의 특성으로부터 홍수량을 구하는 간접방법을 이용하였다. 한편 홍수량 산정은 연구대상하천의 홍수량 검토시에도 참고자료로 활용될 수 있도록 주요지점을 대상으로 확률 규모 50년, 80년, 100년, 150년, 200년 5개 빈도에 대하여 산정하였으며 홍수량 산정지점은 다음<그림 III-9>와 같다.



<그림 III-9> 홍수량 산정지점도

### 3.2 강우량 분석

#### 1) 우량관측소의 선정

홍수유출해석에 필요한 강우량 분석을 위해 제주기상청의 자료를 이용하여 수문분석을 실시하였다. 제주기상청의 관측개시년도는 1923년이며, 강우분석에 필요한 시우량자료를 보유하고 있는 기간은 35개년(1974년~2008년)으로 이는 강우분석을 하기 위한 시우량자료 보유년수의 기준으로 제시되고 있는 30개년 이상을 충족시키므로 기본적인 시우량자료의 보유년수에 대한 신뢰도를 충분히 확보할 수 있는 조건을 갖추고 있다.

<표 III-14> 우량 및 기상관측소 일람표

관측소	위 치			해발고 (EL.m)	관측기간 (년)
	지 명	경 도	위 도		
제주	제주특별자치도 제주시 건입동1123-13	126° 32'	33° 31'	20.0	1923. 5. 1
고산	제주특별자치도 제주시 한경면 고산리 3762	126° 10'	33° 17'	71.2	1988. 1. 1
서귀포	제주특별자치도 서귀포시 서귀동 538	126° 34'	33° 14'	50.5	1961. 1. 1
성산포	제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 685-4	126° 53'	33° 23'	18.6	1971. 1. 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 자료를 수집하여 「하천설계기준」 등에서 제시하고 있는 환산계수를 적용하여 임의시간 강우자료로 변환하는 방법이 주로 사용되고 있다. 이에 따라 연구대상 유역에 대한 연 최대치 강우량 자료는 제주관측소의 48개년(1961년~2008년)의 임의시간인 10분과 시우량자료(2시간~24시간)를 이용하였고, 이 중 7개의 지속시간별 자료를 채택하였다. <표III-15>.

<표 III-15> 제주관측소의 지속기간별 고정시간 연최대강우량

(단위:mm)

지속시간 년도	10분	60분	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
1961	21.1	60.9	84.6	127.9	175.9	176.4	233.4
1962	18.2	42.5	67.0	81.4	98.6	133.0	144.0
1963	11.7	25.0	39.7	50.9	61.2	77.1	100.4
1964	12.8	24.4	31.9	32.6	59.8	60.5	75.0
1965	12.5	38.8	45.1	57.0	69.9	84.9	97.2
1966	18.2	55.3	81.8	93.3	132.0	157.3	192.8
1967	18.5	42.3	42.3	44.2	49.1	57.2	64.5
1968	14.0	52.2	59.6	60.2	69.4	87.0	118.5
1969	13.2	29.2	31.4	41.4	66.8	98.6	115.0
1970	8.9	34.0	55.7	77.5	128.6	164.0	190.7
1971	13.0	38.4	45.8	62.8	75.3	142.1	150.4
1972	15.0	32.7	44.5	59.8	105.7	115.5	115.5
1973	12.8	36.5	53.5	78.6	112.9	212.1	234.0
1974	13.2	43.0	56.4	65.2	86.5	135.1	148.5
1975	10.7	30.0	42.8	52.4	92.3	79.5	87.0
1976	11.0	33.1	53.5	69.1	79.8	100.3	134.3
1977	12.0	20.4	31.6	35.9	46.3	63.8	64.1
1978	11.0	34.2	50.0	60.6	90.4	133.8	158.5
1979	15.6	62.7	100.0	115.5	144.0	236.5	286.2
1980	17.0	41.0	47.4	63.6	120.7	143.7	146.6
1981	20.2	71.0	101.2	120.3	151.2	194.8	355.8
1982	19.7	33.2	49.5	58.7	87.7	105.9	144.0
1983	11.2	29.6	36.5	48.0	84.3	150.0	233.1
1984	7.7	21.1	23.8	33.2	58.2	91.4	120.0
1985	15.0	42.8	57.0	79.9	104.3	223.1	284.2
1986	31.0	100.2	109.2	109.7	160.0	257.1	332.2
1987	20.0	50.3	58.5	79.5	141.8	177.2	178.0
1988	15.5	39.5	53.4	65.7	93.3	128.2	152.5
1989	17.0	36.5	53.1	68.2	125.6	155.0	198.2
1990	13.5	41.4	41.6	44.3	50.7	88.6	113.6
1991	13.9	27.2	40.0	52.6	86.2	122.1	144.2
1992	13.0	29.2	30.4	31.2	43.5	58.0	69.3
1993	17.5	43.0	68.1	79.2	104.2	131.7	141.7
1994	15.0	55.0	74.0	114.0	154.9	170.1	213.2
1995	23.6	90.7	121.6	157.3	166.6	199.3	229.8
1996	9.0	29.8	35.7	36.2	36.3	50.3	67.3
1997	6.6	19.0	28.9	28.9	51.1	80.8	86.4
1998	11.8	30.5	48.8	66.3	113.8	175.5	254.1
1999	27.5	79.2	100.0	123.3	196.5	248.0	260.4
2000	10.0	23.5	34.5	44.0	70.6	111.5	169.5
2001	16.5	33.0	39.0	50.7	73.0	76.5	93.2
2002	11.5	42.5	68.5	96.0	138.5	197.5	227.5
2003	23.0	43.0	59.0	75.0	134.0	202.5	242.0
2004	17.0	48.5	68.0	99.5	143.0	174.5	190.0
2005	11.5	35.5	38.5	49.5	75.0	82.0	104.0
2006	21.0	62.5	70.0	102.5	132.0	157.0	162.0
2007	24.5	75.0	115.0	153.0	288.0	410.5	421.0
2008	14.5	54.5	56.0	56.0	58.0	80.0	97.0

(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.

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

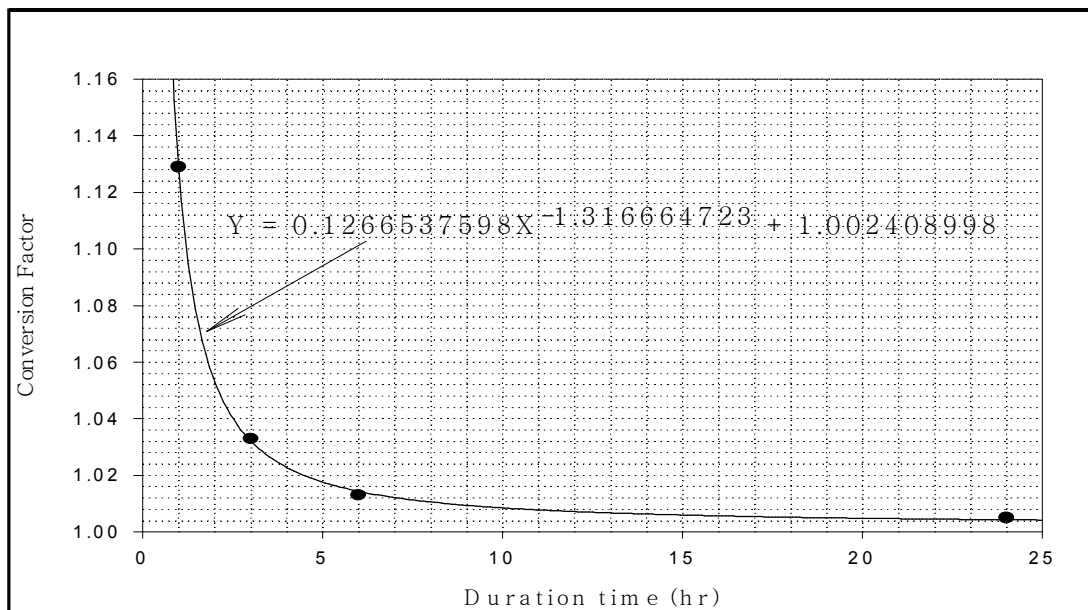
여기서 Y는 환산계수, X는 강우지속시간(hr)이다.

이와 같이 산정된 회귀분석식을 이용하여 지속시간별 고정시간 최대강우량을 지속시간별 임의시간 최대강우량으로 변환하여 <표 III-16>과 같이 산정하였다.

<표 III-16> 국내 강우자료의 지속시간별 관계

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



<그림 III-10> 고정시간-임의시간 환산계수 회귀곡선

<표 III-17> 제주관측소의 지속기간별 고정시간 연최대강우량

(단위:mm)

지속시간 년도	10분	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
1961	21.1	60.9	89.3	132.1	178.2	177.5	234.6
1962	18.2	42.5	70.7	84.1	99.9	133.8	144.7
1963	11.7	25.0	41.9	52.6	62.0	77.6	100.9
1964	12.8	24.4	33.7	33.7	60.6	60.9	75.4
1965	12.5	38.8	47.6	58.9	70.8	85.4	97.7
1966	18.2	55.3	86.3	96.4	133.7	158.2	193.8
1967	18.5	42.3	44.6	45.7	49.7	57.5	64.8
1968	14.0	52.2	62.9	62.2	70.3	87.5	119.1
1969	13.2	29.2	33.1	42.8	67.7	99.2	115.6
1970	8.9	34.0	58.8	80.1	130.3	165.0	191.7
1971	13.0	38.4	48.3	64.9	76.3	143.0	151.2
1972	15.0	32.7	46.9	61.8	107.1	116.2	116.1
1973	12.8	36.5	56.4	81.2	114.4	213.4	235.2
1974	13.2	43.0	59.5	67.4	87.6	135.9	149.2
1975	10.7	30.0	45.2	54.1	93.5	80.0	87.4
1976	11.0	33.1	56.4	71.4	80.8	100.9	135.0
1977	12.0	20.4	33.3	37.1	46.9	64.2	64.4
1978	11.0	34.2	52.8	62.6	91.6	134.6	159.3
1979	15.6	62.7	105.5	119.4	145.9	237.9	287.6
1980	17.0	41.0	50.0	65.7	122.3	144.6	147.3
1981	20.2	71.0	106.8	124.3	153.2	196.0	357.6
1982	19.7	33.2	52.2	60.6	88.8	106.5	144.7
1983	11.2	29.6	38.5	49.6	85.4	150.9	234.3
1984	7.7	21.1	25.1	34.3	59.0	91.9	120.6
1985	15.0	42.8	60.1	82.5	105.7	224.4	285.6
1986	31.0	100.2	115.2	113.3	162.1	258.6	333.9
1987	20.0	50.3	61.7	82.1	143.6	178.3	178.9
1988	15.5	39.5	56.3	67.9	94.5	129.0	153.3
1989	17.0	36.5	56.0	70.5	127.2	155.9	199.2
1990	13.5	41.4	43.9	45.8	51.4	89.1	114.2
1991	13.9	27.2	42.2	54.3	87.3	122.8	144.9
1992	13.0	29.2	32.1	32.2	44.1	58.3	69.6
1993	17.5	43.0	71.8	81.8	105.6	132.5	142.4
1994	15.0	55.0	78.1	117.8	156.9	171.1	214.3
1995	23.6	90.7	128.3	162.5	168.8	200.5	230.9
1996	9.0	29.8	37.7	37.4	36.8	50.6	67.6
1997	6.6	19.0	30.5	29.9	51.8	81.3	86.8
1998	11.8	30.5	51.5	68.5	115.3	176.6	255.4
1999	27.5	79.2	105.5	127.4	199.1	249.5	261.7
2000	10.0	23.5	36.4	45.5	71.5	112.2	170.3
2001	16.5	33.0	41.1	52.4	73.9	77.0	93.7
2002	11.5	42.5	72.3	99.2	140.3	198.7	228.6
2003	23.0	43.0	62.2	77.5	135.7	203.7	243.2
2004	17.0	48.5	71.7	102.8	144.9	175.5	191.0
2005	11.5	35.5	40.6	51.1	76.0	82.5	104.5
2006	21.0	62.5	73.9	105.9	133.7	157.9	162.8
2007	24.5	75.0	121.3	158.0	291.7	413.0	423.1
2008	14.5	54.5	59.1	57.8	58.8	80.5	97.5



(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 <표 III-18>와 같다.

<표 III-18> 강우지속시간별 연최대치 자료계열의 기본통계값

지속시간(min)	평균(mm)	표준편차(mm)	변동계수	왜곡도계수
10	16.8	4.2	0.252	0.265
60	43.0	17.9	0.416	1.339
120	59.6	25.3	0.424	1.137
180	73.9	32.4	0.438	0.969
360	105.1	49.0	0.466	1.277
720	141.5	68.0	0.481	1.452
1440	170.3	81.1	0.476	1.003

### 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 「재해영향평가 실무지침서, 2005.4, 소방방재청」에 의거하여 10, 20, 30, 50, 80, 100년 빈도 등 총 6개의 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 III 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. 각 확률분포형의 모수추정치 결과는 부록에 수록하였다.

#### (4) 적정확률분포형 결정

연구과정에서는 적합도 검정을 통해서 강우강도의 물리적 형상에 위배되지 않는 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)을 채택하였으며, 적정 확률분포형 선정은  $k^2$ 검정, Kolmogorov-Smirnov검정, Cramer Von Mises 검정, PPCC검정 등의 검정결과를 종합적으로 판단하여 적정분포형은 GUM 분포형을 선정하였다. 적합성 검정결과는 부록에 수록하였으며, 각 지속시간별 적정 확률분포형은 다음 <표 III-19>과 같다.

<표 III-19> 각 지속시간별 적정 확률분포형

재현기간 (년)	강우지속시간별 확률강우량 (mm)								
	10분			60분			120분		
	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법
10	22.4	23.5	22.7	66.3	63.4	66.0	92.6	89.3	92.6
20	24.8	26.3	25.2	76.4	72.4	75.9	106.8	102.3	106.8
30	26.1	27.9	26.6	82.1	77.5	81.6	114.9	109.8	114.9
50	27.9	29.9	28.4	89.4	84.0	88.7	125.1	119.1	125.1
80	29.4	31.7	30.1	96.0	89.9	95.2	134.5	127.7	134.5
100	30.2	32.6	30.9	99.1	92.7	98.3	138.9	131.8	138.9
채택	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM
재현기간 (년)	180분			360분			720분		
	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법
	10	116.2	113.3	117.1	169.1	164.9	169.3	230.2	223.5
20	134.3	130.5	135.7	196.6	190.9	196.9	268.3	259.2	267.3
30	144.8	140.4	146.3	212.4	205.8	212.8	290.3	279.7	289.0
50	157.9	152.8	159.7	232.2	224.5	232.7	317.7	305.4	316.2
80	169.8	164.1	171.9	250.3	241.7	250.9	342.9	328.9	341.1
100	175.5	169.5	177.7	258.9	249.8	259.5	354.8	340.0	352.9
채택	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM	GUM
재현기간 (년)	1440분								
	모멘트 법	최우도 법	확률가중 모멘트법						
	10	276.1	270.3	278.5					
20	321.6	313.8	325.1						
30	347.8	338.9	351.8						
50	380.6	370.2	385.3						
80	410.5	398.9	416.0						
100	424.7	412.5	430.5						
채택	GUM	GUM	GUM						

(5) 재현기간별 지속기간별 확률강우량 산정 및 적정성 검토

연구조사에서는 강우지속기간별 재현기간별로 ① 한국확률강우량도의 작성(2006. 6, 건교부), ② 조천우회도로 사전재해 영향성 검토(2008. 6), ③ 연구산정에 의한 확률강우량을 <표 III-20>에서와 같이 비교·검토한 결과 2008까지의 자료보완이 이루어진 ③연구 시 산정한 지속시간별 확률강우량을 채택하여 강우강도식 유도 및 첨두유량 산정에 이용하였다.

<표 III-20> 강우지속시간별 확률강우량 비교

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>22.1</b>	<b>66</b>	<b>93.3</b>	<b>117.7</b>	<b>168.4</b>	<b>229.5</b>	<b>278.6</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>25.1</b>	<b>75.9</b>	<b>107.4</b>	<b>136.4</b>	<b>195.6</b>	<b>267.4</b>	<b>325.2</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>26.7</b>	<b>81.6</b>	<b>115.6</b>	<b>147.2</b>	<b>211.2</b>	<b>289.1</b>	<b>351.9</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>28.8</b>	<b>88.7</b>	<b>125.8</b>	<b>160.6</b>	<b>230.7</b>	<b>316.3</b>	<b>385.4</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>30.7</b>	<b>95.2</b>	<b>135.1</b>	<b>172.9</b>	<b>248.6</b>	<b>341.2</b>	<b>416</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>98.3</b>	<b>139.5</b>	<b>178.7</b>	<b>257.1</b>	<b>353</b>	<b>430.6</b>	◎

① : 한국확률강우량도의 작성(2006. 6, 건교부)

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

② : 제주 롯데리조트 조성사업 재해영향평가(재협의) (2006. 2)

③ : 연구 시 산정

(6) 표고별 보정 확률강우량 산정

강우분석에서 채택된 제주시 우량관측소는 각각 EL. 20m에 위치하고 있다. 일반적으로 표고가 증가할수록 연평균강우량은 증가하는 경향을 나타내지만 연최대 강우량은 직접적인 상관성을 나타내기 곤란하기 때문에 일반적으로는 표고보정을 실시하지 않고 있는 실정이다. 하지만, 제주도의 경우 기후 및 지형학적 특

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

기존 분석 자료인 『제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3차) 보고서, 제주도·한국수자원공사, 2003』를 살펴보면, 동 보고서에서는 최근 10년간(1993~2002)의 강우자료를 토대로 제주도를 표고별로 200m 이하, 200m~600m, 600m 이상으로 구분하여 표고가 증가할수록 연평균강우량이 증가하는 경향을 <표 III-21>과 같이 제시하였다.

<표 III-21> 표고별 연평균 면적강우량

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.

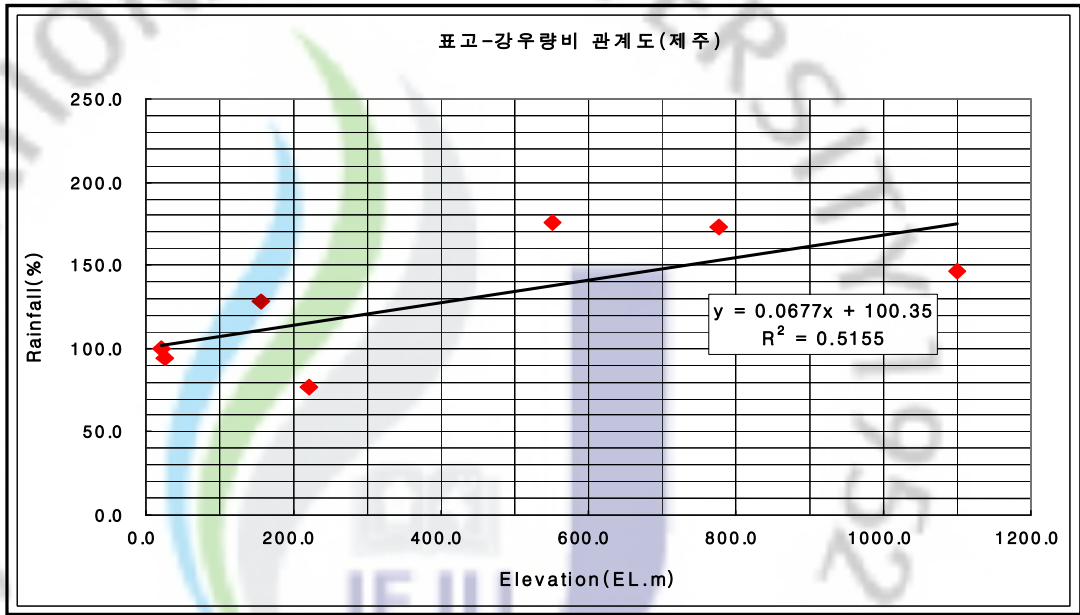
다른 기존 분석 자료를 살펴보면, 제주관측소 및 서귀포관측소의 강우량자료에 제주도 농촌진흥원이 관리하는 7개 우량관측소의 강우량자료를 추가한 후, 지역적으로 한라산 중심으로 북쪽에 위치한 제주관측소, 어승생, 월평, 제동목장 관측소를 1개 군으로 구분하고, 한라산을 중심으로 남쪽에 위치한 서귀포관측소, 1,100m 휴게소, 성판악, 광평, 금악 관측소를 1개 군으로 되어 있는 실정이다.

연구 분석에서는 제주기상청의 표고별 강우량 변화를 분석하기 위하여 지역적으로 한라산을 중심으로 하여 제주기상청은 제주, 조천읍, 봉개, 횡파두리, 관음사, 성판악, 1,100고로 분류하여 분석하였다.

따라서, 연구시 분석에 이용된 제주시 관측소를 중심으로 표고별 강우량분포를 분석하여 표고별 강우량 비를 <표 III-22>와 같이 산정하였고, <그림 III-11>와 같이 표고별 강우량비를 나타낸 관계도를 나타내었다.

<표 III-22> 표고별 연평균 면적강우량

관측소	표고 (m)	실측강우량(mm)											
		2000			2001			2002			2003		
		7/10	9/15	9/29	6/24	7/6	7/13	7/5	7/26	8/31	6/19	7/18	9/12
제주	20	93.5	147.5	17.0	37.5	49.7	24.3	215.0	136.5	126.0	83.0	41.5	231.5
조천읍	25	86.0	150.0	13.0	75.0	62.0	19.0	155.0	106.0	182.0	69.0	5.0	143.0
봉개	155	164.0	217.0	37.0	95.0	78.0	35.0	264.0	214.0	322.0	187.0	47.0	223.0
향파두리	220	34.0	132.0	14.0	46.0	48.0	25.0	130.0	127.0	119.0	126.0	0.0	84.0
관음사	550	207.0	239.0	12.0	111.0	87.0	43.0	433.0	281.0	499.0	215.0	43.0	310.0
성판악	777	189.0	24.0	44.0	87.0	96.0	122.0	274.0	312.0	489.0	217.0	55.0	137.0
1,100	1100	149.0	141.0	34.0	77.0	91.0	59.0	260.0	289.0	801.0	48.0	94.0	330.0
관측소	표고 (m)	실측강우량(mm)											
		2004			2005			2006			2007		
		8/18	8/22	9/11	6/1	6/10	8/24	6/14	7/10	9/17	7/6	8/12	9/16
제주	20	142.5	167.5	186.5	6.0	4.5	35.5	12.0	154.0	119.0	73.0	170.0	396.0
조천읍	25	161.0	137.0	312.0	4.0	6.0	45.0	19.0	151.0	79.0	75.0	159.0	271.0
봉개	155	157.0	219.0	223.0	7.0	20.0	43.0	72.0	102.0	151.0	63.0	185.0	342.0
향파두리	220	149.0	35.0	88.0	9.0	10.0	16.0	23.0	80.0	131.0	82.0	164.0	300.0
관음사	550	225.0	162.0	221.0	7.0	14.0	121.0	113.0	379.0	204.0	80.0	229.0	542.0
성판악	777	215.0	285.0	305.0	37.0	87.0	181.0	262.0	233.0	145.0	117.0	204.0	352.0
1,100	1,100	235.0	229.0	86.0	34.0	49.0	-	211.0	16.0	99.0	140.0	334.0	145.0
관측소	표고 (m)	총계	평균	비율(%)									
제주	20	2,753.0	114.7	100.0									
조천읍	25	2,592.0	108.0	94.2									
봉개	155	3,522.0	146.8	127.9									
향파두리	220	2,128.0	88.7	77.3									
관음사	550	4,841.0	201.7	175.9									
성판악	777	4,761.0	198.4	172.9									
1,100	1,100	3,875.0	168.5	146.9									



<그림 III-11> 표고별 강우량비

(7) 표고별 보정 확률강우량 산정

앞에서 기술한 바와 같이 홍수량 산정지점은 표고별로 강우량이 다르기 때문에 제주 관측소 지점의 빈도별 강우강도 공식의 분석 자료를 이용하여 표고별 보정을 하여야 한다. 그러므로 표고별 등고선도를 토대로 하여 홍수량을 산정하는 지점에 대하여 각각 표고별 강우량 비를 산정하여 평균치를 적용하였다.

강우지속시간별 재현기간별 표고 보정 확률강우량은 다음과 같다.

<표 III-23> 표고 보정 확률강우량

재현기간 (년)	지속시간별 확률강우량(mm)						
	10분	60분	120분	180분*	360분	720분	1440분
10	26.5	77.2	108.2	136.9	197.9	268.2	325.6
20	29.5	88.7	124.8	158.6	230.2	312.5	380.0
30	31.1	95.4	134.3	171.0	248.8	337.8	411.3
50	33.2	103.7	146.2	186.7	272.0	369.6	450.4
80	35.2	111.3	157.2	201.0	293.3	398.7	486.3
100	36.1	114.9	162.4	207.7	303.4	412.5	503.3

(8) 확률강우강도식의 유도

확률강우강도식은 강우강도-지속시간-재현기간의 관계를 나타내는 식으로서 앞서 산정한 확률강우량을 강우강도로 환산하여 임의 지속시간에 대한 강우량을 산정하기 위하여 Talbot형, Sherman형, Japanese형 및 통합형 등 형태의 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),

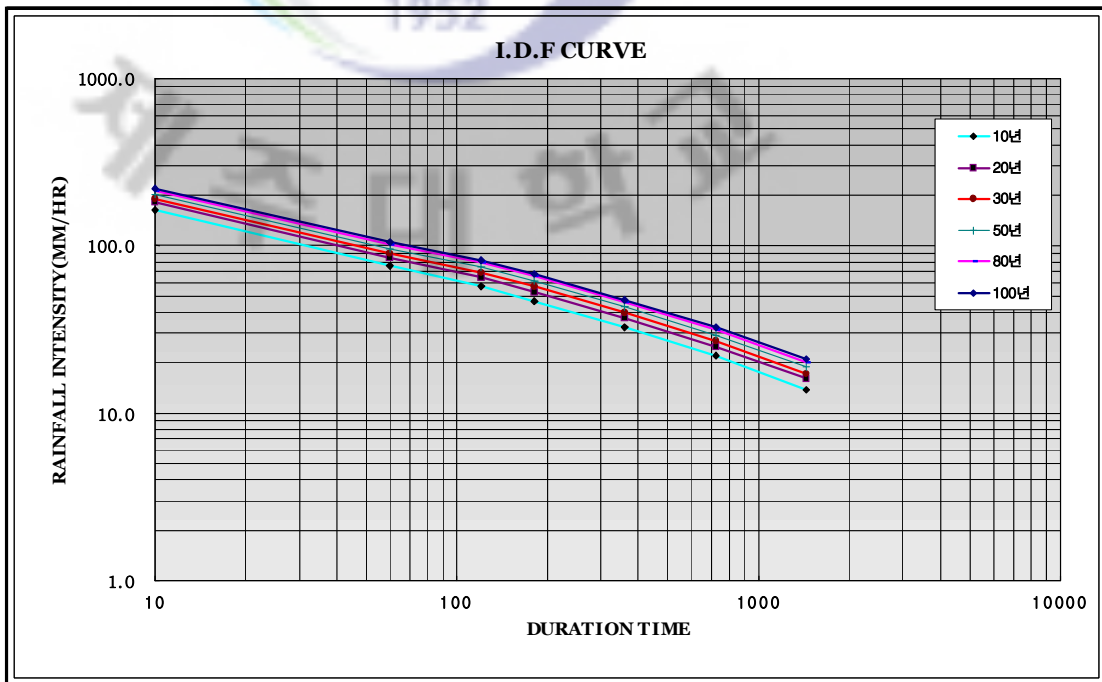
$a, b, c, d, e, n$  : 대상지역에 따라 정해지는 상수 값.

연구 검토서에서 강우빈도의 해석시 사용한 기본자료인 연최대강우자료는 지속시간이 10분에서 24시간까지로, 지속시간의 범위가 상당히 크기 때문에 하나의 강우강도식으로 사용하는 것은 무리가 있다. 따라서, 제주관측소의 경우에는 단시간 및 장시간 확률강우강도식의 경계점이 <그림 III-12>의 IDF 곡선에서와 같이 대체로 180분 내외에서 나타나고 있으므로, 단시간 및 장시간의 구분기간을 각각 180분 이하와 180분 이상으로 규정하여 확률강우강도식을 유도하였다. <표 III-24>은 제주지점의 확률강우강도식을 유도하기 위한 강우지속시간별 확률강우강도를 나타낸다.



<표 III-24> 강우지속기간별 확률강우강도

강우지속기간별 확률강우강도(mm/hr)							
구분	10분	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
10년	132.6	66.0	46.7	39.2	28.1	19.1	11.6
20년	150.6	75.9	53.7	45.5	32.6	22.3	13.6
30년	160.2	81.6	57.8	49.1	35.2	24.1	14.7
50년	172.8	88.7	62.9	53.5	38.5	26.4	16.1
80년	184.2	95.2	67.6	57.6	41.4	28.4	17.3
100년	189.6	98.3	69.8	59.6	42.9	29.4	17.9



<그림 III-12> I-D-F CURVE (전시간)

가. 단시간 확률강우강도식

적절한 재현기간별 확률강우강도식을 결정하기 위해 편차 및 상관계수를 검토한 결과, 제주지방의 단시간 확률강우강도식은 전 빈도에 대해서 Sherman형이 가장 양호한 것으로 나타났다 결정된 단시간 확률강우강도식은 <표 III-25>과

같다.

<표 III-25> 단시간 확률강우강도식(180분 이하)

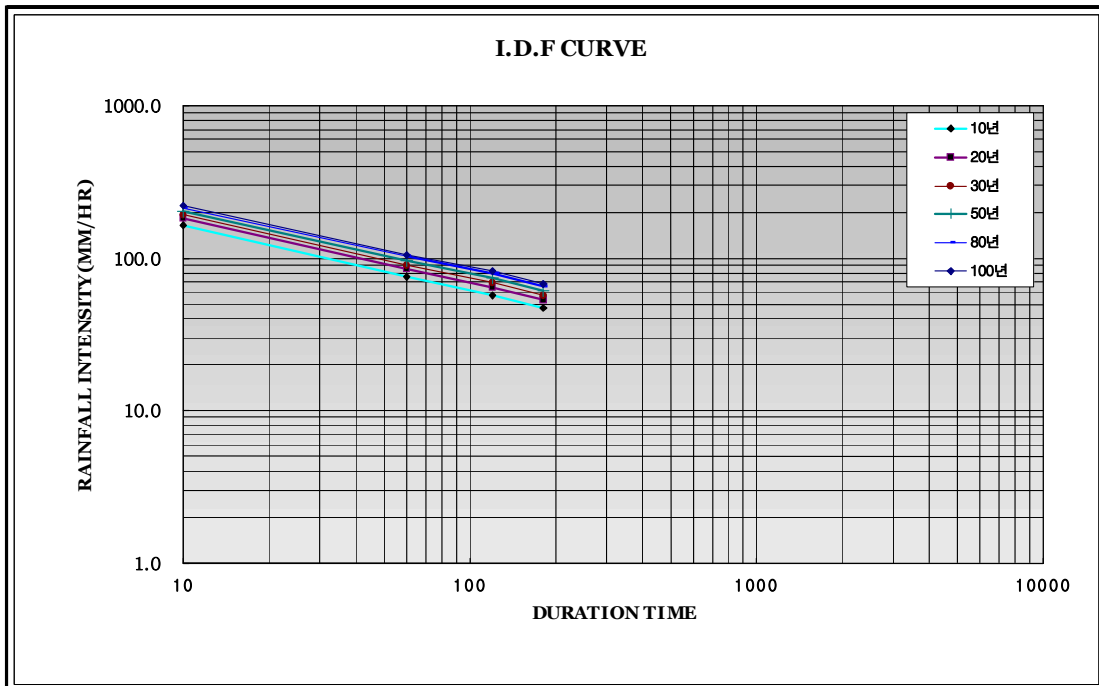
재현기간	구분	Talbot 형	Sherman 형	Japanese 형	Semi-Log 형
10년	공식	$\frac{7,975.1}{(t+53.917)}$	$\frac{659.15}{(t+9)^{0.54427}}$	$\frac{797.94}{(\sqrt{t}+2.2969)} - 1$	$212.58 + (-80.793) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	4.23	0.15	0.04	1.94
	결정계수	0.99412	0.99999	1.00000	0.99832
20년	공식	$\frac{9,231.2}{(t+54.941)}$	$\frac{982.36}{(t+13.5)^{0.5946}}$	$\frac{972.06}{(\sqrt{t}+2.604)} - 1.8$	$240.79 + (-91.029) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	4.60	0.29	0.02	2.02
	결정계수	0.99451	0.99996	1.00000	0.99858
30년	공식	$\frac{10,001}{(t+56.002)}$	$\frac{1,022.4}{(t+135)^{0.58749}}$	$\frac{1,115.9}{(\sqrt{t}+2.9536)} - 2$	$255.48 + (-96.108) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	5.03	0.14	0.03	2.03
	결정계수	0.99471	0.99998	0.99999	0.99876
50년	공식	$\frac{10,937}{(t+56.828)}$	$\frac{1,084.9}{(t+13.5)^{0.58217}}$	$\frac{1,182.6}{(\sqrt{t}+2.892)} - 2.2$	$275.03 + (-103.08) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	5.03	0.14	0.03	2.03
	결정계수	0.99484	0.99999	1.00000	0.99888
80년	공식	$\frac{11,810}{(t+57.61)}$	$\frac{1,139.2}{(t+13.5)^{0.57730}}$	$\frac{1,334.8}{(\sqrt{t}+3.1633)} - 2.2$	$292.65 + (-109.31) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	5.38	0.04	0.03	2.05
	결정계수	0.99491	1.00000	1.00000	0.99898
100년	공식	$\frac{12,215}{(t+57.9)}$	$\frac{1,165.8}{(t+13.5)^{0.57537}}$	$\frac{1,363.7}{(\sqrt{t}+3.1346)} - 2.2$	$301.01 + (-112.27) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	5.38	0.04	0.03	2.05
	결정계수	0.99501	1.00000	1.00000	0.99903

나. 장시간 확률강우강도식

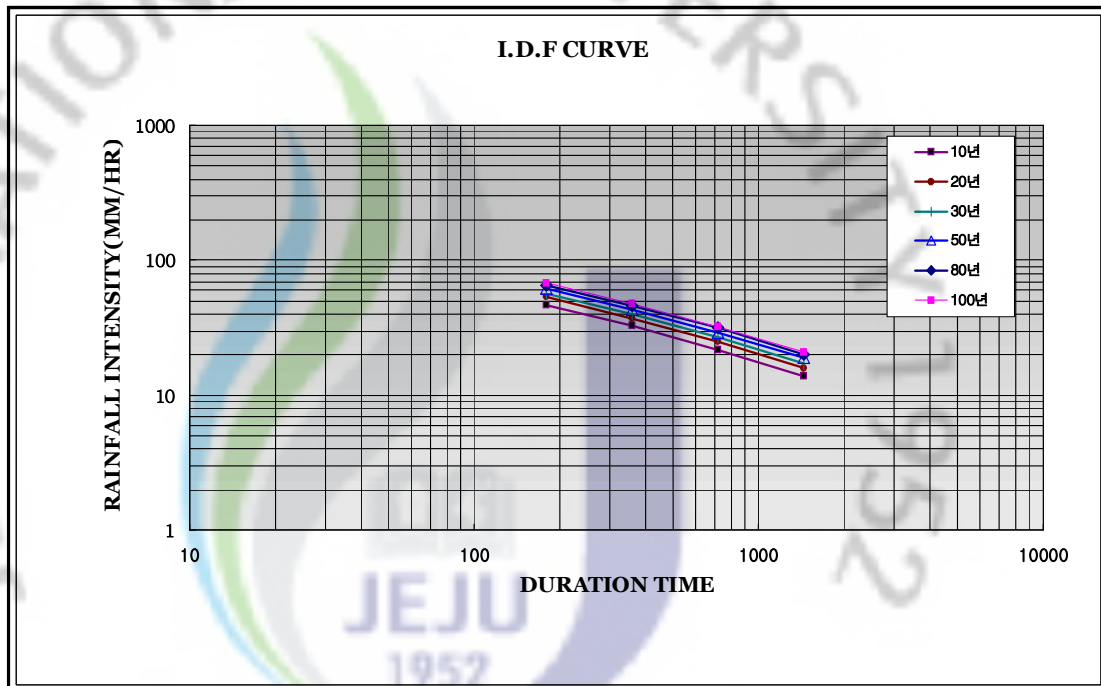
단시간과 동일한 절차를 통하여 적절한 재현기간별 확률강우강도식을 결정하기 위해 편차 및 상관계수를 검토한 결과, 제주지방의 장시간 확률강우강도식은 전 빈도에 대해서 Sherman형이 가장 양호한 것으로 나타났다. 결정된 장시간 확률강우강도식은 <표 III-26>과 같다.

<표 III-26> 장시간 확률강우강도식(180분 이상)

재현기간	구분	Talbot 형	Sherman 형	Japanese 형	Semi-Log 형
10년	공식	$\frac{20,621}{(t+347.76)}$	$\frac{4,015.7}{(t+16.2)^{0.79136}}$	$\frac{683.7}{(\sqrt{t}-1.7721)}$	$112.82 + (-32.495) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	0.81	0.34	0.68	1.14
	결정계수	0.99932	0.99970	0.99894	0.99530
20년	공식	$\frac{24,316}{(t+385.30)}$	$\frac{4,389.5}{(t+162)^{0.78176}}$	$\frac{4940.5}{(\sqrt{t}-36.458)}$	$129.66 + (-37.238) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	0.95	0.33	1.89	1.20
	결정계수	0.99929	0.99972	0.99088	0.99581
30년	공식	$\frac{26,312}{(t+360.07)}$	$\frac{4,677.6}{(t+162)^{0.77975}}$	$\frac{4,842.8}{(\sqrt{t}-33.792)}$	$139.58 + (-40.057) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.01	0.33	1.93	1.26
	결정계수	0.99931	0.99973	0.99190	0.99599
50년	공식	$\frac{28,882}{t+363.43}$	$\frac{4,986.0}{(t+162)^{0.77590}}$	$\frac{4,755.4}{(\sqrt{t}-31.036)}$	$151.73 + (-43.487) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.05	0.35	1.94	1.32
	결정계수	0.99936	0.99971	0.99315	0.99627
80년	공식	$\frac{31,025}{(t+362.56)}$	$\frac{5,375.8}{(t+162)^{0.77631}}$	$\frac{4,676.3}{(\sqrt{t}-28.718)}$	$163.19 + (-46.773) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.12	0.36	1.99	1.39
	결정계수	0.99937	0.99971	0.99394	0.99633
100년	공식	$\frac{32,109}{(t+362.62)}$	$\frac{6,835.1}{(t+183.6)^{0.80325}}$	$\frac{4,648.5}{(\sqrt{t}-27.741)}$	$182.00 + (-51.656) \times \text{Log}(t)$
	표준편차	1.12	0.41	1.97	1.39
	결정계수	0.99942	0.99975	0.99446	0.99654



<그림 III-13> I-D-F CURVE (120분 이하)



<그림 III-14> I-D-F CURVE (120분 이상)

#### (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.

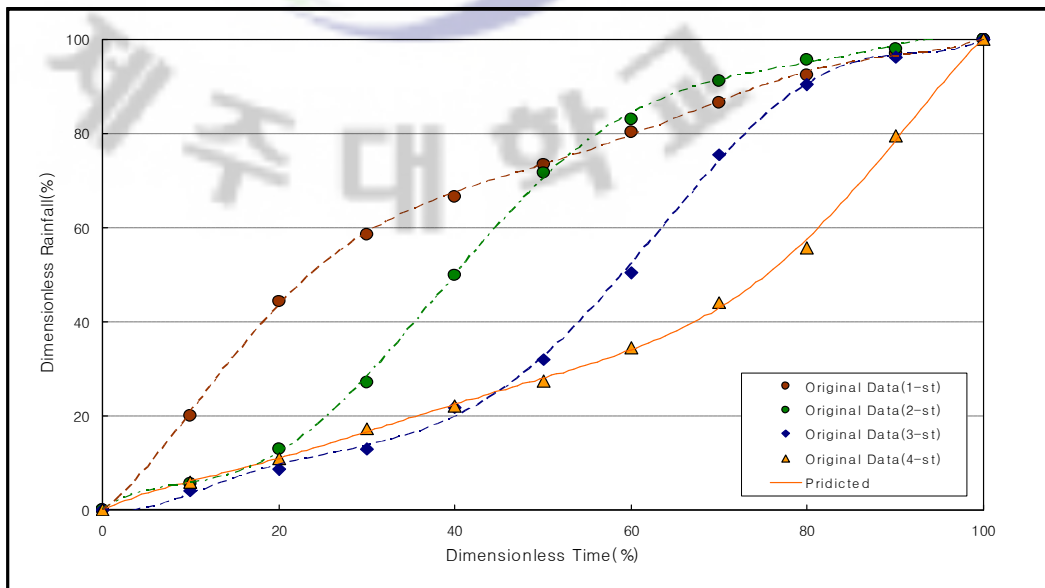
#### 4) 설계강우의 시간분포 방법 결정

유출량을 산정함에 있어서 단위도법 등을 이용하는 경우에는 시간별 강우량의 산정과 이 산정치를 어떤 모형으로 분포시킬 것이냐 하는 문제가 발생하게 되는데, 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 제주관측소 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 <표 III-27>와 같으며, 이를 사용하여 회귀분석한 결과 얻어진 회귀계수는 <표 III-28>와 같다. 제주관측소지점의 Huff 1~4분위의 무차원 누가시간-누가강우량 도는 <그림 III-15>와 같다.



<그림 III-15> 누가우량곡선(50%)의 회귀분석 결과

<표 III-27> 제주지역 강우의 분위별 누가우량곡선의 종거

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
제 2분위, 50%	0.0	5.5	12.8	27.2	50.0	71.6	83.0	91.2	95.8	98.1	100
제 3분위, 50%	0.0	4.0	8.7	13.0	21.7	31.9	50.4	75.4	90.5	96.3	100
제 4분위, 50%	0.0	5.9	10.9	17.3	22.0	27.3	34.5	44.1	55.8	79.4	100

<표 III-28> 제주지역 Huff 분위별 누가우량 회귀계수

계수	1분위	2분위	3분위	4분위
a	-0.16254628000	0.0185109010000	0.041916907000	0.013368984000
b	1.89317150000	0.4075596500000	0.107344580000	1.409077300000
c	0.07060670000	-0.0172722650000	0.079282848000	-0.071735703000
d	-0.00413739970	0.0024826713000	-0.004279835100	0.003601591900
e	0.00007908025	-0.0000565849990	0.000101890900	-0.000082440454
f	-0.00000066898	0.0000004982826	-0.000001013386	0.000000836227
g	0.00000000212	-0.0000000015204	0.000000003542	-0.000000003043

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

5) 유효강우량 산정(초과 강우량 및 직접 유출량)

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), S.C.S 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 S.C.S 방법을 사용하였다.

(1) SCS 방법

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

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

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

여기서, P는 강우지속기간동안의 총우량(또는 누가우량, mm), S는 유역의 최대 잠재보유수량(potential maximum retention, mm)이고, Q는 총우량 P로 인한 직접유출량(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 강우량(직접유출, 초과강우량) 계산시 고려하여야 할 사항은 흙의 종류, 토지의 사용용도, 흙의 초기함수 상태 등으로 구분하였는바, 그 적용기준은 <표 III-29>와 같다.

<표 III-29> 수문학적 토양형의 분류

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) 유역의 선행토양함수조건

총강수량과 유효우량간의 관계분석에 있어서 5일 혹은 30일 선행강수량은 한 유역의 선행토양함수조건을 대변하는 지표로 흔히 사용된다. 즉, 동일한 강수가 내린 경우 선행강수량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출율, 즉 유효우량은 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)

최근의 집중호우 성향을 고려할 때 과소산정될 우려가 있어 치수안전도 증대를 위해 유출곡선지수(CN) 산정시 AMC-II 조건을 적용하였다.

<표 III-30> 토양형별 토지이용별 유출곡선지수 채택치(AMC-II)

토지이용상태	토 양 형				비 고
	A	B	C	D	
논	78	78	78	78	
밭	63	75	83	87	
나대지	77	86	91	94	
주거지	61	75	83	87	150~300평이하
도로	98	98	98	98	
상업지역	89	92	94	95	상업 및 주차장지역
학교	49	69	79	84	보통
공원	49	69	79	84	보통
주차장	98	98	98	98	불투수지역
녹지	49	69	79	84	
하천	100	100	100	100	

(3) 유출곡선지수(CN) 산정

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



<표 III-31> 홍수유출량 산정지점별 CN 값

산정 지점	유역면적(km <sup>2</sup> )			AMC-II			AMC-III			비고
	개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후	
A	15.82	15.82	15.82	71.33	71.33	71.33	85.12	85.12	85.12	
B	1.14	1.14	1.14	84.22	90.01	96.41	92.47	95.39	98.41	
C	0.73	0.73	0.73	81.96	81.96	81.96	91.27	91.27	91.27	
D	17.68	17.68	17.68	72.56	72.95	73.35	85.88	86.12	86.36	

#### 4. 하천홍수량 산정

##### 4.1 홍수도달시간의 산정

도달시간은 유역의 최원점에 내린 강우가 유역의 출구에 도달하는데 소요되는 시간이며, 강우가 유로에 들어오기 전까지 걸리는 시간인 유입시간과 유로를 통하여 흘러가는데 소요되는 시간인 유하시간의 합이다. 유역면적이 커서 유로연장이 긴 경우에는 유입시간이 도달시간에 미치는 영향이 미미하므로 고려하지 않아도 무방하나, 연구대상유역과 같이 유역면적이 작아서 유로연장이 짧은 경우에는 유입시간을 고려하는 것이 일반적이다. 유입시간에 대한 기준을 살펴보면 「하천시설기준, 1993, 건설부」에는 산지지역은 30분, 급경사유역은 20분으로 제시하고 있어 연구 시 유입시간을 광역에서는 20분, 소유역은 10분을 적용하였다.

홍수도달시간은 「방재조절지 설계지침 개발(I), 1997, 국립방재연구소」 등에서 제시한 홍수도달시간의 표준공식을 이용하여 Kraven공식, Rziha공식, Kirpich공식, SCS 지체시간 공식에 대해 검토하였으며, 경사 산정 방법은 단순경사보다는 등가경사와 유역 평균등가경사를 산정하여 적용하였다.

##### ㉔ Kraven 공식

$$T_c = 0.444 \times \frac{L}{S^{0.515}}$$

- 여기서, L : 하도길이(km), S : 하도경사 (H/L, m/m)
- 지표면 흐름이 지배적인 중하류 유역 중 하도경사가 1/200 이하인 유역에 적합.

㉔ Rziha 공식

$$T_c = 0.833 \times \frac{L}{S^{0.60}}$$

- 여기서, L : 하도길이(km), S : 하도경사 (H/L, m/m)
- 지표면 흐름이 지배적인 상류지역으로 하도경사가 1/200 이상인 유역에 적합.

㉕ Kirpich 공식

$$T_c = 3.976 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

- 여기서, L : 주 하천의 유로연장(km), S : 주 하천의 유로평균경사(m/m)
- 지표면 흐름이 지배적인 농경지 유역에 적합하며, 하도경사가 3~5%, 유역면적 0.453 km<sup>2</sup> 이하의 소유역에 적용.

㉖ SCS 지체시간 공식

$$T_c = \frac{1.67L^{0.8}S^{0.7}}{1900Y^{0.5}}$$

- 여기서, L : 최원점에서의 주 유로연장(ft)
- Y : 유역평균경사(%)
- S : 지표토층의 최대가능저류량(inch), S=(1000/CN)-9
- CN : 유출곡선지수

- 농촌유역의 자료로부터 개발됨에 따라 주로 농경지 유역에 적용하며, 2,000acres 이하의 소규모 도시유역에서도 적용할 수 있다.

이와 같이 4가지 경험공식을 이용하여 홍수유출량 산정지점별로 홍수도달시간을 산정하면 다음 <표 III-32>과 같다. 연구과정에서 산정된 홍수도달시간을 살펴보면 산정방법별로 편차가 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 실제 현장조사를 통한 지형조사 및 급경사 산지 소유역임을 고려하여 검토한 결과 Rziha공식이 가장 적절한 것으로 판단되어 최종 도달시간으로 적용하였다.

<표 III-32> 홍수도달시간 및 평균유속 산정결과

산정 지점	개발 단계	유역 면적 (km <sup>2</sup> )	유로 연장 (km)	평균 경사 (%)	유하시간(min)				평균유속(m/sec)			
					Kraven (II)	Kraven (I)	Rziha	Kirpich	Kraven (II)	Kraven (I)	Rziha	Kirpich
A	전	15.822	10.997	5.02	61.09	22.79	55.15	79.70	3.00	8.04	3.32	2.30
	중	15.822	10.997	5.02	61.09	22.79	55.15	79.70	3.00	8.04	3.32	2.30
	후	15.822	10.997	5.02	61.09	22.79	55.15	79.70	3.00	8.04	3.32	2.30
B	전	1.143	0.878	1.14	4.88	3.91	10.72	20.15	3.00	3.75	1.36	0.73
	중	1.143	0.878	1.14	4.88	3.91	10.72	20.15	3.00	3.75	1.36	0.73
	후	1.143	0.878	1.14	4.88	3.91	10.72	20.15	3.00	3.75	1.36	0.73
C	전	0.726	0.713	3.51	3.96	1.78	4.43	11.13	3.00	6.68	2.68	1.07
	중	0.726	0.713	3.51	3.96	1.78	4.43	11.13	3.00	6.68	2.68	1.07
	후	0.726	0.713	3.51	3.96	1.78	4.43	11.13	3.00	6.68	2.68	1.07
D	전	17.683	12.582	4.67	69.90	27.08	65.93	90.94	3.00	7.74	3.18	2.31
	중	17.683	12.582	4.67	69.90	27.08	65.93	90.94	3.00	7.74	3.18	2.31
	후	17.683	12.582	4.67	69.90	27.08	65.93	90.94	3.00	7.74	3.18	2.31

#### 4.2 홍수량 산정 방법 결정

##### 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 것이다. 이와 같이 유도된 수문곡선은 지속기간이 영이고 단위강우량(1cm 또는1mm)이므로 순간단위도(IUH)이다.

추적과정을 살펴보면 직렬로 연결된 선형수로가 유역의 출구에 위치하고 유역과 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. 선형저수지의 유역의 저류와 저항의 영향을 반영하고 내용은 유출의 확산(擴散 : diffusion) 또는 감쇠(減衰 : attenuation)이다. 선형저수지의 역할은 유역의 유출구에 가상의 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.

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

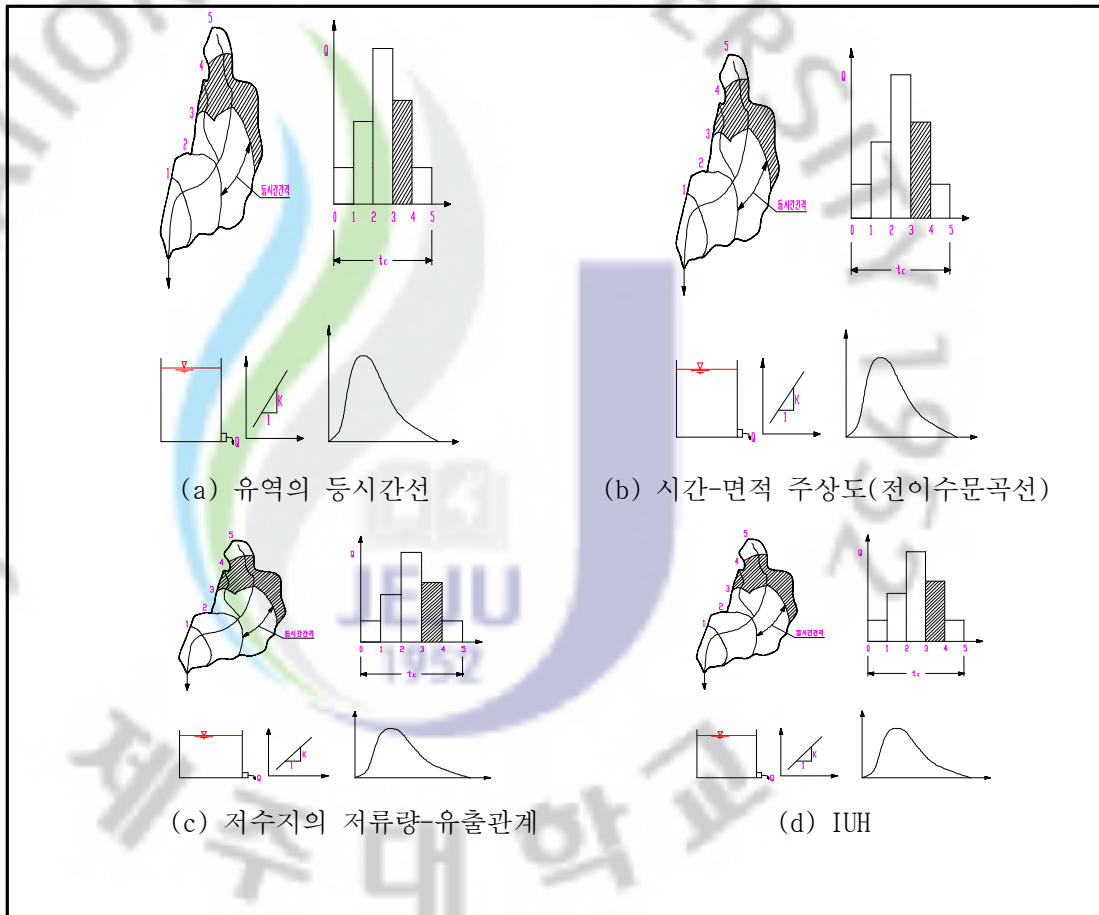
여기서  $\bar{I}_i$ 는 기간  $i$  동안의 평균유입량으로 시간-면적주상도로부터 결정되며 두 식을  $O_i$ 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

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

위의 식의 수치해는 시간-면적주상도로 정의되는 유입량의 추적으로 <그림 III-15>와 같은 IUH의 종거의 평균으로 계산되고  $\Delta t$ 시간의 단위도의 시간  $i$ 에서의 종거는 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 앞에서 언급된 WMS 모형을 통하여 산정한 유역의 지형학적 특성인자 값을 토대로 WMS자체에 내장된 Kirpich 공식, Kerby 공식과 추가로 Kraven(I), Kraven(II) 공식 및 Rziha 공식 등을 사용하여 홍수량 산정지점별로 각각 산정하였다. 산정 결과 유역의 특성을 고려하여 적절하다고 판단되는 Kraven(I) 공식과 Rziha 공식을 사용하였다. 저류상수의 경우  $K = t_c$ 를 사용하였다. 도달시간 및 저류상수 산정방법별 기본식은 다음과 같다.



<그림 III-16> Clark 단위도 개념

- 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 공식공식

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

여기서,  $t_c$ 는 분(min)단위,  $N$ 은 피복면의 조도계수로서 포장지역은 0.02, 평탄  
한 나대지는 0.1, 거칠고 풀이 없는 지역은 0.3, 초지는 0.4, 산림은 0.8의 값을 각  
각 사용한다.

• 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)」)

$$K = a t_c$$

여기서,  $K$ 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)」)

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

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

2) SCS 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.

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

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

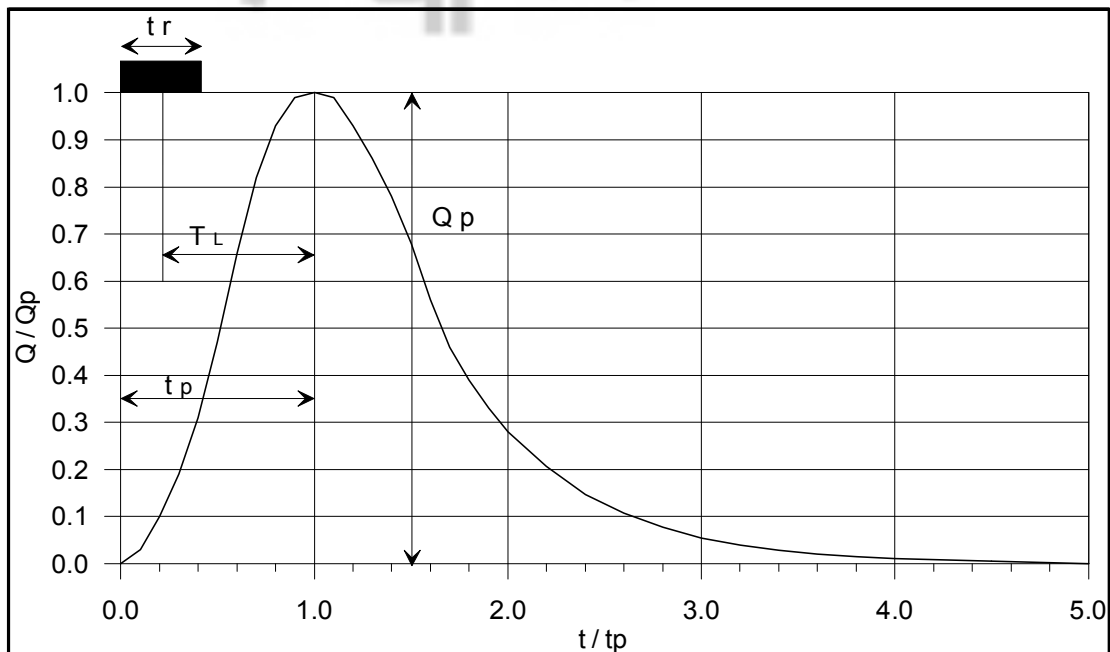
$$Q_p = \frac{2.083A}{t_p}$$

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)



<그림 III-17> SCS 무차원 단위도

다른 계산시간 간격의 단위도와 첨두유량은 SCS 무차원 단위도로부터 보간법으로 구하며, SCS 무차원 단위도의 시간별 증거는 <표 III-33>과 같다.

<표 III-33> 홍수도달시간 및 평균유속 산정결과

$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$
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		

### 3) Nakayasu(中安) 종합단위도

Nakayasu는 Horner와 Flynt의 소유역에서 수문자료를 분석하여 유도한 단위도를 일본 전하천유역에 적용하여 결정하는 합성단위도를 작도할 수 있도록 한 방법이다. 유효우량의 지속기간, 즉 단위도를 결정하는 합성단위도를 작도할 수 있도록 한 방법으로 <그림 III-18>과 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( $\text{km}^2$ ),  $R_0$ 는 단위유효우량( $\text{mm}$ )으로 통상 $1\text{mm}$ 가 사용되며,  $t_p$ 는 유출시점으로부터 최대유량  $Q_p$ 까지의 시간( $\text{hr}$ ),  $t_k$ 는 유량이 최대유량의 0.3배로 감소하기까지의 소요시간( $\text{hrs}$ )이다.

#### ② 단위도형



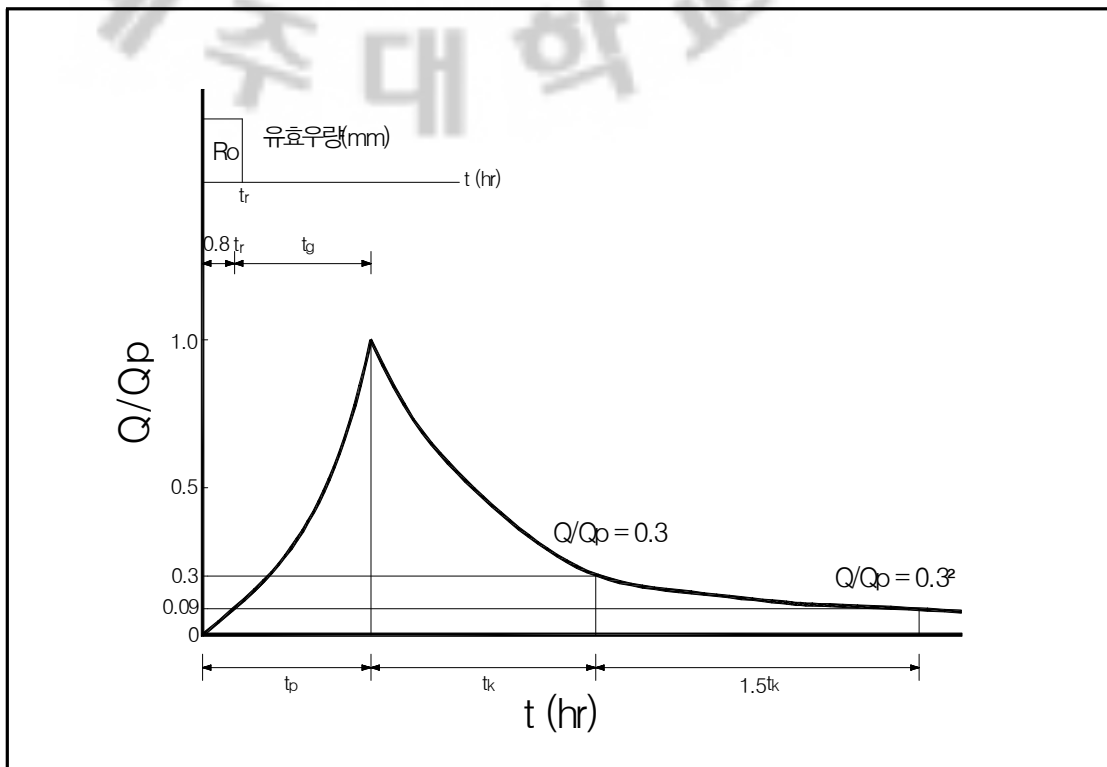
- 상승곡선  $0 < t < t_1$  일 때 :  $Q/Q_p = (t/t_p)^{2.4}$
- 감수곡선  $t_p < t \leq t_k$  일 때 ( $1 > (Q/Q_p) \geq 0.3$ ) :  $(Q/Q_p) = 0.3^{(t-t_p/t_k)}$   
 $t_k < t \leq 1.5t_k$  일 때 ( $0.3 > (Q/Q_p) \geq 0.3^2$ ) :  
 $(Q/Q_p) = 0.3^{(t-t_p+0.5t_k)/1.5t_k}$   
 $1.5t_k < t$  일 때 ( $0.3^2 > (Q/Q_p)$ ) :  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

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)

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



<그림 III-18> Nakayasu의 무차원 단위도

#### 4) Kajiyama 극대홍수량법

일반적으로 우리나라 하천에 널리 이용되고 있는 Kajiyama 수정공식은 다음과 같다.

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

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

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

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 침투유량을 결정하는데 널리 사용되고 있으며, 대상 유역에 균등분포된 일정한 강우강도의 호우로부터 평균유량 개념에 의해 침투유출량을 결정하는 방법으로서, 그 식은 다음과 같다.

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

여기서  $Q$  : 홍수침투유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )      $C$  : 유출계수

$I$  : 강우강도( $\text{mm}/\text{hr}$ )      $A$  : 유역면적( $\text{km}^2$ )

한편, 합리식에 있어서 유출계수는 <표 III-34>와 같은 토지이용도별 유출율을 고려하여 하천별 유출계수를 산정하였다.

<표 III-34> 토지이용별 유출계수

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	잔 디	사 질 토	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	0.25-0.40	중 토	평탄지	0.13-0.17		
	아파트	0.50-0.70		평균	0.18-0.22		
경사지			경사지	0.25-0.35			
산업 지역	산재지역	0.50-0.80	나 지	평탄한 곳		0.30-0.60	
	밀집지역	0.60-0.90		거친 곳		0.20-0.50	
공원, 묘역		0.10-0.25	농 경 지	경 작 지	사 질 토	작물 있음	0.30-0.60
운동장		0.20-0.35				작물 없음	0.20-0.50
철로		0.20-0.40			중 토	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	0.70-0.95	초 지	사질토		0.15-0.45	
	콘크리트	0.80-0.95		중토		0.05-0.25	
	벽돌	0.70-0.85	산지 *2	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>)

#### 4.3 적정유출모형의 결정

적정유출모형의 선정은 앞서 설명한 Clark 유역추적법, Nakayasu 종합단위도

법, SCS 합성단위도법 등의 유출모형을 이용하여 침투홍수량을 산정하였으며, Huff의 분위별 침투 홍수량을 비교한 결과, 연구조사에서는 가장 큰 침투홍수량을 나타내는 4분위를 채택하였다. 3가지 모형을 적용하여 침투홍수량을 계산한 결과는 <표 III-35>와 같다. 3가지 모형 중 Nakayasu 종합단위도법은 일본의 산지하천을 대상으로 유도된 것이기 때문에 우리나라에 그대로 적용하는 것은 지양할 필요가 있으며, 최근 이상기후로 인한 국지성호우 빈발 등으로 발생할 수 있는 재해위험 가중성에 따른 영향을 최소화하기 위하여 홍수유출량이 타 방법에 비해 다소 크게 산정된 SCS무차원단위도법을 채택하여 산정하였다.

<표 III-35> 산정방법별 침투홍수량 비교(100년 빈도)

유역	개발단계	유역(km <sup>2</sup> )	산정방법	빈도별						비고
				10년	20년	30년	50년	80년	100년	
A	개발전	15.822	SNYDER	111.11	148.8	160.92	176.12	189.43	196.03	
			SCS	257.4	321.85	349.21	383.25	413.99	429.03	채택
			CLARK	177.33	236.58	256.1	280.46	302.15	312.82	
	개발중	15.822	SNYDER	111.11	148.8	160.92	176.12	189.43	196.03	
			SCS	257.4	321.85	349.21	383.25	413.99	429.03	채택
			CLARK	177.33	236.58	256.1	280.46	302.15	312.82	
	개발후	15.822	SNYDER	111.11	148.8	160.92	176.12	189.43	196.03	
			SCS	257.4	321.85	349.21	383.25	413.99	429.03	채택
			CLARK	177.33	236.58	256.1	280.46	302.15	312.82	
B	개발전	1.143	SNYDER	19.27	23.39	25.23	27.53	29.59	30.61	
			SCS	34.88	41.46	44.93	49.3	53.33	55.24	채택
			CLARK	31.29	36.87	39.98	43.85	47.4	49.07	
	개발중	1.143	SNYDER	19.79	23.69	25.52	27.81	29.9	30.92	
			SCS	37.52	44.23	47.68	52.03	56.01	57.88	채택
			CLARK	33.13	38.61	41.67	45.48	48.97	50.62	
	개발후	1.143	SNYDER	20.13	23.88	25.71	28	30.08	31.1	
			SCS	39.73	46.28	49.66	53.92	57.82	59.67	채택
			CLARK	34.39	39.87	42.85	46.59	50.01	51.63	
C	개발전	0.726	SNYDER	12.32	14.92	16.12	17.61	18.95	19.61	
			SCS	27.35	33.01	35.91	39.6	42.96	44.55	채택
			CLARK	21.25	25.28	27.46	30.2	32.7	33.88	
	개발중	0.726	SNYDER	12.32	14.92	16.12	17.61	18.95	19.61	
			SCS	27.35	33.01	35.91	39.6	42.96	44.55	채택
			CLARK	21.25	25.28	27.46	30.2	32.7	33.88	
	개발후	0.726	SNYDER	12.32	14.92	16.12	17.61	18.95	19.61	
			SCS	27.35	33.01	35.91	39.6	42.96	44.55	채택
			CLARK	21.25	25.28	27.46	30.2	32.7	33.88	
D	개발전	17.633	SNYDER	119.59	159.47	172.39	188.59	202.79	209.82	
			SCS	273.42	345.66	374.91	411.29	444.18	460.27	채택
			CLARK	173.2	232.22	251.21	274.92	295.97	306.34	
	개발중	17.633	SNYDER	119.82	159.71	172.62	188.82	203.01	210.04	
			SCS	274.38	346.42	375.65	412.04	444.91	460.99	채택
			CLARK	173.67	232.63	251.62	275.31	296.37	306.73	
	개발후	17.633	SNYDER	120.05	159.95	172.85	189.05	203.23	210.26	
			SCS	275.33	347.17	376.38	412.79	445.63	461.7	채택
			CLARK	174.14	233.05	252.02	275.71	296.76	307.11	

#### 4.4 개발로 인한 침투홍수유출량 증감분석

<그림 III-9>의 홍수량 산정지점에서 A 구역의 경우 개발로 인해서 A-1, A-2 구역으로 나누어 홍수유출량을 산정하였다. A-1의 경우 개발 후에 침투유출량이 0.17m<sup>3</sup>/sec 감소되었으나, 나머지 구역에 대해서는 침투유출량이 증가하였다. C 구역의 경우 우수흐름의 변화로 인해 C-1, C-2, C-3구역으로 구분하였으며, 우수흐름의 변화로 인해 개발전의 구역면적보다 증가하였다. 여기서 D 구역은 구역 전체를 나타내고 있다. 토지이용계획의 변화에 따라 홍수유출량이 대부분의 구역에 대해서 조금씩 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 III-36> 침투홍수유출량 증감분석(100년)

산정지점	구역면적(km <sup>2</sup> ) 개발 전·중·후	개발 전	개발 중		개발 후	
		침투유출량 (m <sup>3</sup> /sec)	침투유출량 (m <sup>3</sup> /sec)	변화량	침투유출량 (m <sup>3</sup> /sec)	변화량
A	15.822	429.03	429.03	-	429.03	-
B	1.143	55.24	57.88	△ 2.64	59.67	△ 4.43
C	0.726	44.55	44.55	-	44.55	-
D	17.683	460.27	460.99	△ 0.72	461.70	△ 1.43

## IV. 부유토사의 유출특성

### 1. 부유토사의 유출량 산출

#### 1.1 토사유출량 산출모형

유역을 통해 유출되는 토사량을 RUSLE 모형을 적용하여 추정하였다.

#### 1.2 토사유출량 산출방법

토사유출량을 산정하기 위해 사용된 토양의 침식량 산정모형별로 그 이론과 적용결과를 설명하면 다음과 같다.

##### 1) RUSLE 모형

토사유출량의 산정기법은 여러 가지 모형이 있으나, 토사유출량은 물론 토양보전대책까지 수립할 수 있는 USLE(Universal Soil Loss Equation), RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) 등의 공식이 많이 사용되고 있다. RUSLE은 USLE기법 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 있어 국내에 적용하기 곤란한 실정이다.

연구에서는 국립방재연구소에서 제안한 C와 P의 산정은 USLE기법을, 나머지 인자의 산정은 RUSLE기법에 의하여 토사유출량을 산정하는 RUSLE기법을 사용하여 토사유출량을 산정하였다(국립방재연구소, 1998). RUSLE는 유역의 면적

A에서 발생하는 토양손실총량 Y를 다음 식으로 나타내고 있다.

$$Y = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot A \quad (\text{정상강우년의 연평균 토사침식량})$$

$$= R \cdot K \cdot LS \cdot VM \cdot A \quad (\text{단일호우에 의한 토사침식량})$$

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

C : 피복-관리인자 P : 토양보존대책인자 VM : 토양침식조절인자

위 식을 이용하여 산정한 특정 유출지점의 토사유출량은 토사생산지점으로부터 유출지점까지의 전달률을 고려해야한다.

## 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 적용하다가 최근에는 단일호우 강우침식인자가 도입되었다. 연평균 강우침식인자는 연평균 강우량에 의한 토양침식량의 정도를 나타내는 인자로서 통상 기존 연구 결과를 사용하게 되며, 『개발에 따른 토사유출 산정에 관한 연구(I), 국립방재연구소, 1998』 부록편 p.267에 의한 <표 III-37>와 같은 연평균 강우침식인자를 주로 채택하고 있으며, 연구대상구역의 연평균 침식능 R값은 제주도의 390 J/ha·mm/hr로 추정하였다. 그러나 연평균 침식능 R을 이용한 토양침식량 산정은 빈도개념이 없으므로 단일호우에 의한 침식능 R값을 산정하여 구한 토사침식량을 산정하였다.



<표 III-37> 관측소별 연평균 강우침식 인자, R

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	(합 안)	341	1969~1980				

※자료 : 개발에 따른 토사유출량 산정연구, 1998, 국립방재연구소

## (2) 단일호우 침식인자

RUSLE 건설현장 적용공식에서 단일호우에 대한 단위면적당 최초 침식량(A)을 산정하기 위해서는 강우침식도(R)는 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. 통상 재현기간은 침사지 계획빈도와 동일한 30년빈도, 지속기간은 24시간을 주로 채택한다.

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)

<표 IV-1>은 50년빈도의 강우침식인자의 산정예로  $R_{50}=1,210(10^7\text{J/ha} \cdot \text{mm/hr})$ 로 계산되었고, <표 IV-2>은 100년 빈도의 강우침식인자의 산정예로  $R_{100}=1,380(10^7\text{J/ha} \cdot \text{mm/hr})$ 로 각각 나타났다.

<표 IV-1> 강우침식능(R) 산정표(재현기간 50년)

지속시간 (hr)	강우량 (cm)	간격당 강우량 (cm)	시간 간격 (hr)	강우강도 (cm/hr)	1cm운동에너지 ( $\text{m}^3 \cdot \text{tonnes/ha/cm}$ )	에너지단위 ( $\text{m}^3 \cdot \text{tonnes/ha}$ )
0	0.00					
0.5	6.03	6.03	0.50	12.06	288	1,737
1	8.89	2.86	0.50	5.72	277	793
2	12.56	3.67	1.00	3.67	260	955
3	15.89	3.33	1.00	3.33	256	854
4	19.28	3.39	1.00	3.39	257	872
5	22.17	2.89	1.00	2.89	251	725
6	24.65	2.48	1.00	2.48	245	608
12	33.81	9.16	6.00	1.53	226	2,073
18	36.76	2.95	6.00	0.49	183	539
24	41.18	4.42	6.00	0.74	198	876
계						10,032

<표 IV-2> 강우침식능(R) 산정표(재현기간 100년)

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	6.65	6.65	0.50	13.30	288	1,915
1	9.84	3.19	0.50	6.38	282	898
2	13.95	4.11	1.00	4.11	265	1,088
3	17.68	3.73	1.00	3.73	261	973
4	21.41	3.73	1.00	3.73	261	973
5	24.58	3.17	1.00	3.17	255	807
6	27.31	2.73	1.00	2.73	249	679
12	29.66	2.35	6.00	0.39	174	408
18	40.86	11.20	6.00	1.87	234	2,622
24	41.01	0.15	6.00	0.03	67	10
계						10,374

### 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 <표 IV-3>와 같이 분류한다.

<표 IV-3> 토양의 구조 및 투수성 구분

토 양 의 구 조		토 양 의 투 수 성	
S1	Soil Structure	P1	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(0.002~0.05 mm)의 백분율, VFS는 매우 고운 모래(0.05~0.1 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 삼수천에 평균으로 각각 적용하였다. 이때 적용한 토양통의 결과표는 <표 IV-4>에서 연구와 관련이 있는 것은 각각 구좌, 아라 및 제주 토양토의 K값이다.

<표 IV-4> 토양침식인자 (K)

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, 통상적으로 유역 사면의 길이(L), 사면의 기울기(S)를 통합하여 하나의 무차원 인자(LS)로 간주하여 토사유출량을 산정한다. 사면경사인자 S는 사면경사가 토양손실에 미치는 영향을 예측하는데 활용된다. 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 면지수(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 m은 토양의 침식가능성이 미약한 경우로 간주하여 m값을 결정해야 한다. 방목지(rangeland)의 경우도 토양의 침식가능성이 미약한 경우로 간주하여 m값을 결정해야 한다. 연구조사에서는 L과 S의 산정식을 이용하여 LS를 산정하였으며, 다음 <표 IV-5>과 같다.

<표 IV-5> 무차원 경사지의 거리 및 경사계수(LS)

구분	구분	$\sin\theta$	S	$\beta$	m	L	LS
삼 수 천	개발전	0.047	0.534	0.636	0.389	11.78	6.29
	개발중	0.047	0.534	0.636	0.389	11.78	6.29
	개발후	0.047	0.534	0.636	0.389	11.78	6.29

5) 토양침식조절인자 VM의 산정

토양침식조절인자(VM)는 토양피복인자(C)와 토양보전대책인자(P)의 곱에 대응하는 무차원인자이다. 연구 조사에서는 <표 IV-6>을 이용하여 VM값을 산정하였으며 그 결과는 <표 IV-7>과 같다.

<표 IV-6> 토양침식 조절인자, VM (Israelson 외, 1980)

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

<표 IV-6> 토양침식 조절인자, VM (계속)

Condition	VM Factor
3. Dust binder 605 gallons/acre 1210 gallons/acre	1.05 0.29-0.78
4. Other chemicals 1000 lb. fiber Glass Roving with 60-150 gallons asphalt emulsion/acre Aquatain Aerospray 70, 10 percent cover Curasol AE Petroset SB PVA Terra-Tack bWood fiber slurry, 1000 lb/acre fresh bWood fiber slurry, 1400 lb/acre fresh bWood fiber slurry, 3500 lb/acre fresh Portland cement + Latex 1000 lbs/ac + 8 gals/ac 1500 lbs/ac + 12 gals/ac	0.01-0.05 0.68 0.94 0.30-0.48 0.40-0.66 0.71-0.90 0.66 0.05-0.73 0.01-0.36 0.009-0.10 0.13 0.006
5. Seedings temporary, 0 to 60 days temporary, after 60 days permanent, 0 to 60 days permanent, 2 to 12 months permanent, after 12 months	0.40 0.05 0.40 0.05 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

<표 IV-7> 토양침식 조절인자 VM 산정

구분	구분	유역면적 (ha)	토지 이용상태별 면적(ha)					VM
			경작지	불투수지역	영구초지	나지	임야	
			0.02	0.01	0.01	0.80	0.01	
삼수천	개발전	1,767.6	746.4	118.8	460.3	-	442.2	0.014
	개발중	1,767.6	666.0	106.0	458.4	99.7	437.6	0.058
	개발후	1,767.6	666.0	205.6	458.4		437.6	0.014



## 6) 토양침식량 산정

상기에서 산정한 각 계수를 이용하여 토양침식량을 산정한 결과는 <표 IV-8> ~ <표 IV-9>과 같다.

<표 IV-8> 정상강우년에 의한 토양침식량 산정

구분	산정 지점	유역면적 [ha]	R [107J/ha·mm/hr]	K [tonnes/ha/R]	LS	VM	토사침식량 [tonnes/year]
삼수천	개발전	1,767.6	390	0.183	6.29	0.014	11,083
	개발중	1,767.6	390	0.183	6.29	0.058	45,923
	개발후	1,767.6	390	0.183	6.29	0.014	11,083

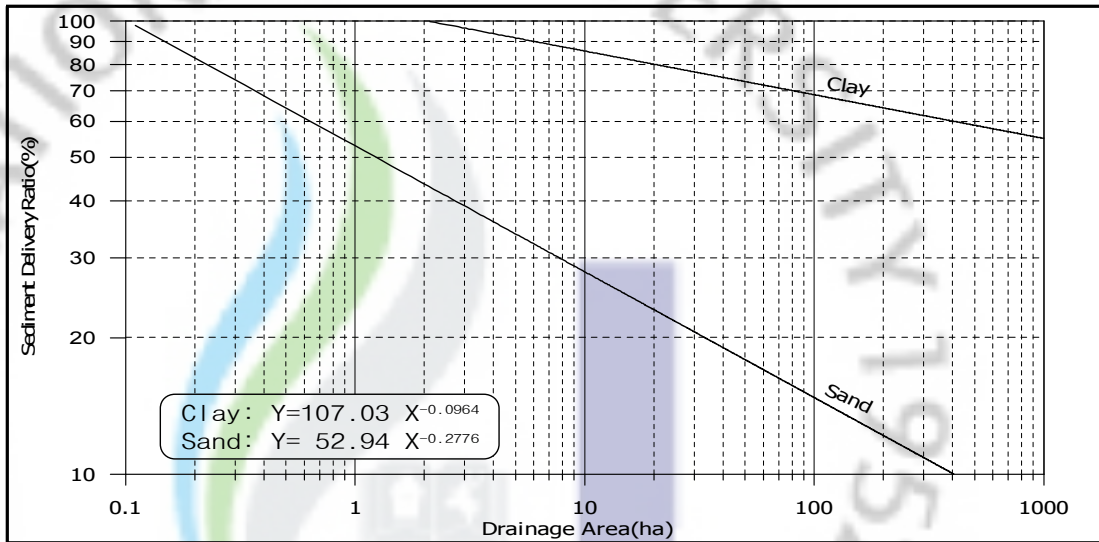
<표 IV-9> 단일호우시(TRB)에 의한 토양침식량 산정

구분	산정 지점	유역면적 [ha]	R [107J/ha·mm/hr]	K [tonnes/ha/R]	LS	VM	토사침식량 [ton/strom]
삼수천	개발전	1,767.6	1,380	0.183	6.29	0.014	39,224
	개발중	1,767.6	1,380	0.183	6.29	0.058	162,463
	개발후	1,767.6	1,380	0.183	6.29	0.014	39,224

## 2. 유사전달률과 단위중량을 고려한 토사유출량 산출

### 2.1 유사전달률

원 지점에서 침식된 토립자들은 흐름에 연행·이송되어 하류로 내려가다가 경사가 완만해 지는 곳이나 움푹 파인 지점, 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 산정하여야 하며, 유사전달률은 미국 교통연구단(TRB)에서 유역면적과 관계를 토립자의 크기에 따라 제시한 <그림 III-19>를 적용하여 산정하였으며, 이 결과치를 <표 IV-10>에 나타내었다.



<그림 III-19> 유역면적과 토립자의 크기에 따른 유사전달률

<표 IV-10> 유사전달률

구분	유역	유역면적 (ha)	유역면적 (acre)	유사전달률(%)		가중평균전달률
				모래	점토	
삼 수 천	개발전	1,768	4,368	7	52	27
	개발중	1,768	4,368	7	52	27
	개발후	1,768	4,368	7	52	27

## 2.2 퇴적토 단위중량(Specific weight of deposits)

저수지나 침사지에 포착되어 침전·퇴적된 토사는 저류공간을 매우게 된다. 이 경우 퇴사의 저류공간을 추정하기 위해서는 무게로 표시된 유사량을 침사지 바닥에 침전된 퇴적토 부피로 환산할 필요가 있다 이 경우 이른바 퇴적토 단위중량의 추정이 필요하다.

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

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

$\gamma_s$ 는 보통 점토·실트의 경우  $1.0 t/m^3$ 이하이며, 모래의 경우  $1.65 t/m^3$ 까지

가능하며, 상기 경험식을 적용하여 산정한 결과 퇴적토의 단위중량은  $1.40 t/m^3$ 로 산정되었다.

### 2.3 토사유출량 산출

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 <표 IV-11>과 같다.

<표 IV-11> 토사유출량 산정

구분	산정지점	유역면적 (ha)	토양침식량		유사전달률 (%)	단위중량 ( $ton/m^3$ )	토사유출량	
			연평균 (ton/yr)	단일호우 (ton/storm)			연평균 ( $m^3/yr$ )	단일호우 ( $m^3/storm$ )
				100년				100년
삼수천	개발 전	1,767.6	11,083	39,224	27	1.456	2,055	7,273
	개발 중	1,767.6	45,923	162,463	27	1.456	8,516	30,126
	개발 후	1,767.6	11,083	39,224	27	1.456	2,055	7,273

### 3. 부유토사의 유출량 산출

#### 3.1 삼수천의 식생

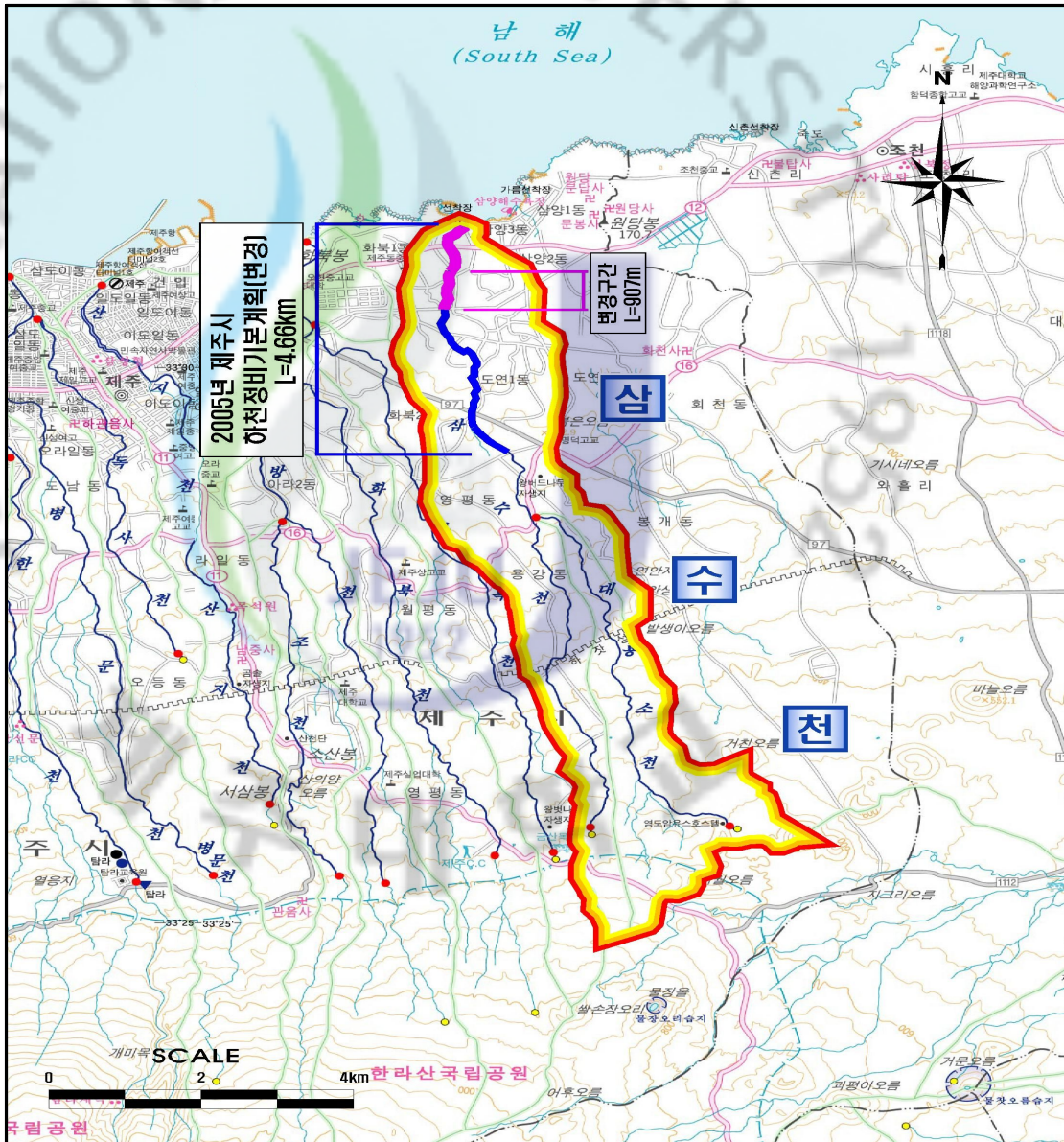
삼수천은 상류부에서 대룡소천과 부록천이 합류하여 북류하여 삼양해수욕장

인근 해역으로 유출하고 있다. 제주삼화지구 택지개발사업 지구내를 유과하는 삼수천은 2005년에 하천기본계획이 수립되었다. 그러나 하천기본계획상 측점 삼수제16교에서 도련교까지의 총 연장 L=907m에 대한 하천기본계획(변경)을 2008년 12월에 재수립하였으며, 변경구간은 <그림 IV-1>에 나타내었다. 사업지구내에 위치하고 있는 삼수천은 평소에는 유량이 없는 건천으로서 하안 및 하도는 불량한 식생분포를 하고 있다.

### 3.2 삼수천의 토사유출량 산출

삼수천 토사의 저류공간을 추정하기 위해 무게로 표시된 유사량을 침사지 바닥에 침전된 퇴적토를 부피로 환산하며, 퇴적토의 단위중량을 추정한 결과  $1.40 t/m^3$ 로 산정되었다.

유역의 토양침식량은 유역출구의 토사유출량과 차이가 있으므로 유사전달률의 개념을 도입하여 토양 침식량에서 토사유출량을 산정하였다. 이때 토사유출량은 중량단위(tonnes/year)이며, 단위중량을 산정하여 침사지 등의 용량 결정에 필요한 체적단위( $m^3/year$ )의 토사유출량으로 환산한다. 산정된 토양침식량과 유사전달률 및 단위중량을 적용하여 토사유출량을 산정한 결과는 다음 <표 IV-12>과 같다. 제주삼화지구 택지개발사업으로 인한 토사유출량은 삼수천을 통해 100년 빈도의 호우에  $30,126m^3$ 이 공사 중에 발생하며, 공사 전·후에는  $7,273m^3$ 이 유출되는 것으로 산정되었다.



<그림 IV-1> 삼수천 기본계획도(변경)

<표 IV-12> 삼수천의 토사유출량 산정

구분	산정 지점	유역면적 (ha)	토양침식량		유 사 전달률 (%)	단위 중량 (ton/m <sup>3</sup> )	토사유출량	
			연평균 (ton/yr)	단일호우 (ton/storm) 100년			연평균 (m <sup>3</sup> /yr)	단일호우 (m <sup>3</sup> /storm) 100년
삼수천	개발 전	1,767.6	11,083	39,224	27	1.456	2,055	7,273
	개발 중	1,767.6	45,923	162,463	27	1.456	8,516	30,126
	개발 후	1,767.6	11,083	39,224	27	1.456	2,055	7,273

#### 4. 하천 홍수유출에 의한 부유토사의 유출특성

##### 4.1 하천 홍수유출시 부유토사의 유출량

평상시 건천인 삼수천의 토사유출량은 100년 빈도의 호우에 30,126m<sup>3</sup>이 공사중에 발생하며, 공사전·후에는 7,273m<sup>3</sup>이 유출되는 것으로 산정하고 있다. <표 IV-13>은 제주도 지방하천 및 소하천의 토사유출량을 나타내고 있다. 여기서 삼수천을 토안 토사 유출량은 강정천 보다는 적으나 약근천과 대포천과는 비슷한 유출량을 보이고 있다.

하천을 통해 유출되는 토사량은 인근 연안해역에 유입되어 제한된 연안역에 확산·이류하여 강한 연안류와 해조류에 의해 분산되어 간다. 일반적으로 제주도 연안해역에서 발생하는 부유토사의 유입은 인근 해역에는 큰 피해가 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 삼수천을 통해 삼양 연안해역에 유입한 부유토사도 외해수와 강한 혼합 및 확산되어 인근해역에는 큰 피해를 주지 않는 것으로 사료된다.

<표 IV-13> 제주도내의 지방하천 및 소하천의 토사유출량

구분	산정지점	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
강정천	DS0	3,766		50,785
약근천	AGO	2,289		26,863
삼수천	-	1,767.6		30,126

## 4.2 부유토사의 연안해역 유입

일반적으로 연안 해역에서 개발사업이나 매립 및 방파제건설 공사를 하게 되면 공사 중에는 부유물질이 발생하며, 건설공사 완공시에는 해안 및 해저의 지형 변화에 따른 해수유동 및 침식·퇴적환경이 변화하게 된다. 따라서 부유물질발생 및 확산, 해수유동 변화, 침식 및 퇴적환경 변화 등은 기존의 물리적·화학적 해양 환경을 변화시켜 인근 어업에 피해를 줄 수 있는 해양환경변화 인자로 작용하게 된다.

제주삼화지구 택지개발사업 공사시에 발생할 수 있는 해양환경변화에는 사업 지구내에 위치하는 하천을 통해 유출되는 일시적으로 부유사가 증가되는 부유토사를 들 수 있다. 이러한 부유토사는 침전·퇴적되거나 확산되는 환경변화가 발생하여 일시적 또는 영구적으로 해역에 피해를 줄 수도 있다.

이 같은 부유물질은 해수 중의 탁도를 증가시키고, 해산식물의 광합성 저해와 수산생물을 비롯한 해양동식물의 생리·생태에 장애를 일으키기도 한다.

홍수시 삼수천을 통해 삼양연안 해역에 유입된 부유토사와 개발공사에 의해 발생하는 오탁물질 등은 연안해역의 흐름에 의하여 이류하고, 난류성분에 의하여 확산되며 물질의 성질에 따라 자체분해 또는 침강 등에 의하여 농도감쇠가 일어난다.

평상시 또는 홍수시 삼수천을 통해 유출되는 부유토사는 삼양연안 해역에 위치하는 연안해역에 큰 피해를 미치지 않은 상태로 현재에 이르고 있다. 또한, 제주삼화지구 택지개발 사업으로 인해 발생하는 토공량은 대부분 지구내에 설치·운영중인 저류조의 용량을 감안 할 때 삼수천으로 월류하여 유출되는 부유토사량은 거의 없을 것으로 사료된다. 또한, 음나물내 소하천은 연구대상 구역을 벗어난 동부 유역에 위치하고 있어 토사유출은 고려하지 않는다.

제주삼화지구 택지개발사업으로 인해 삼수천 및 음나물내를 통해 유출되는 부유토사의 유입이 삼양연안해역에 미치는 영향은 미미할 것으로 보인다<사진 V-1>. 따라서 하천을 통해 유출되는 부유토사는 공사로 인해 추가되는 토사량이 없으므로 인해 연안해역에서의 부유사의 확산수치시뮬레이션은 별다른 의미가 없게 되므로 고려하지 않아도 될 것으로 사료된다.



<사진 IV-1> 위성사진에 의한 삼수천하구와 삼양 연안해역



## V. 결론 및 제언

### 1. 결론

동제주수역에 속하는 지방하천인 삼수천의 하천유출량 산정과 삼화지구 택지개발사업으로 인한 부유토사 유출의 특성을 파악하였다. 제주삼화지구 택지개발사업 공사 중 절토 및 성토 등으로 인해 발생하는 유출토사가 발생한다. 또한, 우기시 사업지구내를 유과하는 지방하천인 삼수천을 통한 토사유출이 사업지구 하류부에 위치한 하구역 및 연안해역에 미치는 영향 유무를 조사하기 위하여 토사유출량 연구를 수행 하였다.

택지개발사업 공사 중 태풍이나 집중호우시 절토 및 성토 등의 부유토사 유출이 삼수천을 통해 발생한다. 부유토사의 유출량과 사업지 구내에 설치·운영 중인 저류지의 저류량을 비교·검토한 결과 택지공사로인해 발생하는 토사유출량을 충분히 저감·방지할 수 있었다. 하천의 토사유출량은 공사로 인해 추가되는 토사량이 거의 없으므로 삼양연안해역의 해역에 대한 부유토사의 영향은 거의 없는 것으로 분석되었다.

### 2. 제언

삼화지구택지개발사업은 제주시 삼양동 일대 976,032m<sup>2</sup>(295,250평)에 주변지역의 난개발 방지와 제주시권의 동·서간 균형적인 발전 및 택지의 안정적·효율적인 공급에 기여하여 제주시 3개 생활권 중 하나인 동부지역 생활권의 중심지를 조성하는데 있다.

사업지구는 제주도 수역구분 중 동제주수역에 속하며, 사업지구내를 유과하는 하천은 지방하천인 삼수천이 있으며 사업지구 동측에 소하천인 음나물내가 위치하고 있다. 삼수천은 「제주시 하천정비기본계획(2005. 12, 제주시)」이 수립되었

으며, 이 기본계획을 변경하는 「삼수천 하천기본계획(변경)(2008. 12, 제주도)」이, 「음나물내 재해위험지구 정비사업(2005.12, 제주도)」 수립되어 현재 하천정비사업이 완료 되었거나 진행 중에 있다.

하천개수사업과 재해위험지구 정비사업 시행으로 장래 정량적인 직접효과와 더불어 생활환경 개선, 자연환경 보호, 보건위생학적인 효과, 하천의 수질보전 및 용수이용, 지하수 오염방지, 수원지의 수질 보존 등의 비정량적인 효과가 예상된다. 따라서 지역주민의 여가공간 및 휴식공간 제공과 수질환경의 개선이 예상된다. 지하수 오염방지 및 하천수의 용수이용으로 농작물에도 좋은 효과가 기대된다. 기설제방 구간에 배수시설 유지보수 및 기타 하천시설물을 효율적으로 관리할 수 있어 보다 높은 하천의 기능을 기대할 수도 있다. 하천정비에 따라 하류본류의 홍수량이 증대될 수 있는 상황에 충분히 대비할 수 있어서 보다 효과적인 재해 대책이 될 수 있을 것이다.

삼수천 기존 배수문의 통수능력을 검토하여 통수능력이 부족한 시설물에 대해서는 전반적인 시설물의 확장계획 수립과 한국토지주택공사에서 시행하는 제주삼화지구 택지개발사업을 실시하게 됨에 따른 영향을 고려하여 지속한 하천의 유지관리가 필요하다.

## 참고문헌

- 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
- 경기도 건설교통국, 2004, 자연친화적 하천정비 지침(시안), pp. 110~121
- 한국수자원공사, 2003.11, 하천자연도평가 지침, pp. 9~22
- 양희경, 2001, 지형 및 인위적 변수에 의한 산지 하천의 분류, 서울대학교 박사학위논문, pp. 35~53
- 우효섭, 2001, 하천수리학, 청문각, pp. 843~844
- 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
- 서귀포시, 2001, 지방2급하천(대포·회수) 정비기본계획 보고서, pp. 68~69
- 제주시, 2001, 지방2급하천정비기본계획 보고서(삼수천, 이호천, 원장천, 도근천, 광령천), pp. 144~145
- 제주시, 2001, 지방2급하천정비기본계획 보고서(산지천, 화북천, 병문천, 한천, 방천, 부록천, 독사천), pp. 168-169
- 한국토지공사·한국주택공사, 2006, 제주 삼화지구 택지개발사업 통합(환경·교통·재해)영향평가서, 222pp.
- 한국토지공사·한국주택공사, 2009, 제주 삼화지구 택지개발사업 재해영향평가 협의내용 이행실태
- 제주시·대한주택공사, 2008, 삼수천 하천기본계획(변경), 107pp.
- 제주시, 2005, 음나물내 재해위험지구 정비사업 보고서, 196pp.
- 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.
- 건설기술연구원, 2002, 장기 강우-유출모형 구조비교, 수자원의 지속적확보개발기술사업, pp. 85~96.
- 김경탁, 2003, 정밀토양도에 이용한 CN 산정에 대한 제안, 한국수자원학회지 제 36권 4호, pp. 45~53.

## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 여러 차례 검토하고 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으신 양성기 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 논문심사 과정에서 바쁘신 가운데도 세심하게 검토하여 주신 김남형 교수님, 김상진 교수님께도 고마운 말씀을 드립니다.

돌이켜 보면, 배움의 길을 걸기에 직장인이 시간적 한계를 극복하고 학업에 정진한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니었습니다만, (주)대웅건설 김태문 사장님, 영일건설(주) 강복실 사장님께서 성원해 주셨기에 이 논문이 좋은 결실이 될 수 있었습니다. 사장님께서 베풀어 주신 마음 깊이 간직 하리라 다짐하면서 진심으로 고마운 말씀 드리고 싶습니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 많은 시간과 노력을 함께 해준 수리학 연구실 정우열님, 강명수님께도 감사드립니다.

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

이 작은 결실이 맺어지기까지 힘과 용기를 주신 아버지, 어머니와 장인, 장모님 그리고 내색하지 않고 뒷바라지해준 사랑하는 나의 아내 강연옥여사, 사랑하는 딸 시은, 유비에게 이 논문으로 보답하고자 합니다.

2011 년 6 월

양 훈 철 배상