

碩士學位論文

濟州道 小流域 地下水涵養量算定 모델 研究



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

徐汀鎭

2005년 06月

濟州道 小流域 地下水涵養量算定 모델 研究

指導教授 陽 城 基

徐 汀 鎮

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005年 06月

徐汀鎮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 大學院

2005年 06月

A Study on Estimation of Quantifying Groundwater Recharge in the Small Basin of Jeju Island, Korea

Jeoung- Jin Seo

(Supervised by professor Sung-Keel Yang)

 제주대학교 중앙도서관
A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Engineering

Department of Civil & Ocean Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목차	i
List of Figures	iii
List of Tables	iv
Summary	vi
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구동향	2
3. 연구목적	4
II. 연구대상 유역 및 방법	5
1. 연구대상유역	5
2. 연구방법	6
III. 지하수함양량 산정법의 이론적 배경	7
1. 물수지 방정식	7
2. SCS법	8
3. 증발산량 산정법	11
4. 하천유출량 산정법	13
IV. 소유역의 개요와 특성	15
1. 지형특성	15
2. 지표지질	19
3. 토양분류	21
V. 하천유출량의 산정	27
1. 토지의 이용	27

2. 강우량의 측정과 분석	32
1) 강우량 측정	32
2) 관측자료 분석	33
3. 하천유출량의 측정과 분석	35
1) 하천수위 측정	35
2) 하천유속 측정	36
3) 유출량 분석	38
VI. 물수지 분석과 지하수함양량 산정	39
1. 증발산량	39
2. SCS모형에 의한 지표유출량 산정	46
3. 하천유출량에 의한 지표유출량 재산정	47
VII. 결 론	50
참고문헌	52
부 록	54



List of Figures

Fig. 1. Location of the study area	5
Fig. 2. Basin area of Gosung stream and observation location of runoff	14
Fig. 3. Basin map in the study area	17
Fig. 4. Analysis of altitude in Gosung stream	18
Fig. 5. Hydrological soil map	26
Fig. 6. Land use of the soil groups in the study area	31
Fig. 7. Rainfall variation in Jeju Island	33
Fig. 8. Monthly rainfall variation in Jeju island	34
Fig. 9. Runoff depth with isolated rainfall in the study area	36
Fig. 10. Relationship between runoff depth and velocity at the stream in the study area	37
Fig. 11. Rainfall and evapotranspiration curve in the study area(1998~2002)	45
Fig. 12. Runoff curve of the month from CN of 75	47
Fig. 13. Runoff curve of the year from CN of 75	47
Fig. 14. Runoff curve of the month from measured CN of 44	48
Fig. 15. Runoff curve of the year from measured CN of 44	48

List of Tables

Table 1. Soil group of SCS	9
Table 2. Antecedent soil moisture condition	9
Table 3. Hydrologic soil-cover complexes(AMC-II, $I_a = 0.2$ s)	10
Table 4. Stick float depths and adjustment factor	13
Table 5. Number of measurements per widths of flow	14
Table 6. Geologic stratigraphy	20
Table 7. Hydrologic soil groups for the study area	25
Table 8. Types of soil, area and, index of runoff curves	28
Table 9. Specification of soil in the study area	28
Table 10. Land use squares of the soil groups	29~30
Table 11. Observation location for rainfall during 2002.5.13~2003.3.22	32
Table 12. Mean monthly rainfall during 1924~2002	34
Table 13. Total rainfall depth after rainfall stoping for several hours in 1924~2002	35
Table 14. Velocities measured by stick float in the Gosung stream	36
Table 15. Runoff velocities of each points at the stream	38
Table 16. Total rainfall and runoff in the study area	38
Table 17. Potential evapotranspiration calculated with crop coefficient	40
Table 18. Potential Evapotranspiration of Basal crop	41
Table 19. Potential Evapotranspiration of Forest	41
Table 20. Potential Evapotranspiration per land use	42
Table 21. Evapotranspiration of Basal crop	43
Table 22. Evapotranspiration of Forest	43

Table 23. Evapotranspiration of per land use 44
Table 24. Evapotranspiration of the study area 45
Table 25. Estimation of direct runoff from SCS 46
Table 26. Runoff depth from SCS 49
Table 27. Balance analysis on the quantity of water in the study area 49



Summary

To estimate the quantity of the groundwater recharge in a small basin, the analysis is performed for the rainfall-runoff characteristics of the small basin(9.03km²) belonging to Aewol catchment(85.3km²) among the 16 major basins in Jeju island. The water balance analysis is performed with the runoff curve numbers(CN) derived from the soil classification and land use characteristics and with the CN values recalculated from the isolated rainfall - the runoff survey of Gosung stream, the main stream of the basin. The isohyet map is made by using the annual rainfall from 1998 to 2002, obtained from Jeju climatological observation station and the mean annual rainfall is found to be 1,667.8mm.

The isolated total rainfall of 151.5mm lasts for 25 hours in the small basin. The runoff in the stream occurs for 5 hours and 50minutes after the rainfall began. The total runoff is 224,343m³ and the runoff rate is 16.3%. There is no runoff in the preceding rainfall of 44.5 mm five days ago. There is a significant difference between the quantity of the groundwater recharge by existing runoff curve number of 75 and that by the runoff curve number of 44 obtained from the actual measured rainfall - runoff analysis. When 5 year mean annual rainfall , evapotranspiration and runoff curve number of 75 is applied to the Soil Conservation Service Method (SCS), the stream runoff is 364.7mm and the quantity of the groundwater recharge is 696.1mm, 41.4% of the mean annual rainfall . When the runoff curve number of 44, which is recaluated from the direct measurement of the runoff, is applied, the quantity of the groundwater recharge is 940.8mm, 56.0% of the mean annual rainfall, about 244mm greater than that by the existing SCS method.

From the study, in the future, in evaluating groundwater resources of Jeju island , it is necessary for the estimation of quantity groundwater recharge to include the decision of the basin size, the classification of runoff characteristics for each stream, reclassification of soils characteristics and so on.



I. 서론

1. 연구의 배경

우리나라 최다우지역인 제주도는 년 평균 강우량이 1,975mm로서 하천, 계곡 등을 이용한 저수지보다는 대부분 관정개발에 의한 지하수에 의존하고 있다. 독립된 수계를 가지고 있는 제주도는 화산활동에 의해 형성된 현무암류와 화산쇄설성 퇴적층으로 구성되어 육지에 비해 투수성이 매우 높다(제주도·한국수자원공사, 2003).

제주도 강우의 일반적인 특성은 강우가 지질 및 지형에 따라 일시적으로 표층류 형태로 바다로 유출되거나 잠시 지하로 저류된 후 서서히 기저로 유출하는 형태를 보이고 있다. 또한 지질구조대를 따라 지하에 함양되면서 지하수수위변화를 심하게 변화시키는 특징을 보이고 있다.

상시 흐르는 하천은 일시적으로 지하에 침투한 강우가 지하수로 함양되어 용천수의 형태로 용출하면서 나타나 하천을 이룬 것인데, 이러한 형태의 하천수는 지하수의 수온과 거의 같고 수질도 양호하며 가뭄에도 지속적인 유출을 보이고 있다. 상시하천은 제주시에 있는 외도천, 한림지역의 옹포천, 남부지역의 중문천, 강정천, 연외천, 동홍천, 창고천 등이 있으며 일부 해안에 가까운 지점의 하상과 하천측벽에서 지하수가 용천수 형태로 기저유출을 보이고 있다. 그러나 제주도내의 하천은 대부분 건천을 이루고 있다.

이러한 건천은 한라산에서 시작되는 지형적인 특성에 따라 경사가 급하게 발달되어 신속한 유출을 보이고 있으며 유출시간도 2~3일정도로 매우 짧다. 건천의 하상특성은 상류부에는 모래나 자갈 등으로 구성되어 우수한 투수성을 보이고 있으나 해안에 가까울수록 기반암이 노출되어 투수성이 불량하며 하류부에서는 인근 도시지역의 불투수층 증가로 인해 강우에 신속히 반응하며 유출을 보이고 있다. 또한 건천의 특징은 강우에 의해서 점진적으로 홍수유출량이 증가되는 육지부의 하천과는 달리 투수성이 양호한 하상으

로 인하여 하천표층이 포화된 후 홍수가 갑작스럽게 일어나는 특징을 보인다. 건천의 유출형태는 특정한 강우에 의해 의해서만 유출을 보이고 있다. 따라서 직접유출관측에 의한 하천유출특성을 분석하면 물수지분석에 의해 지하수함양량을 파악할 수 있다. 이러한 연구결과는 향후 제주도의 용수공급체계 및 계획수립에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

제주도의 지하수에 관련된 조사·연구는 1960년대부터 여러 연구기관, 단체, 개인 등이 시작하여 1970년대부터 본격적으로 수문지질, 지하수위, 지하수부존형태, 산출특성 등에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(농업진흥공사, 농림수산부, 제주도지하수보고서, 1971). 반면 제주도하천의 유출특성에 대한 연구는 1990년대 중반이후 시작되어 기초자료수집에 머물러 있다가 문덕철(2004)에 의해 제주도 주요 상시하천에 대한 기저유출량을 조사하였을 뿐이다. 강우발생시 강우강도에 의한 표층류와 하천유출 발생 시점, 유출중지 시점까지의 변화등 유역별로 구분하여 유출특성을 분석하는 기초적인 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

2. 연구의 동향



물수지분석에 의한 지하수함양량 산정방법은 습윤기후 또는 온대기후지역에 적용할 때 비교적 정확하며, 실용적인 방법으로 알려져 왔다(Lerner, 1990, Hansen, 1991). 물수지분석으로 산정한 지하수함양량은 측정된 강우량, 지표유출량, 증발산량의 차이에 의해 결과가 달라질 수 있다. 따라서 이들 측정값의 오차가 지하수함양량의 추정 오차를 크게 한다(Sophocleous, 1991). 이러한 함양량의 추정오차는 물수지분석의 계산간격이 길수록 커지게 된다. 한때 습윤기후에서 일별 계산이 적합하며, 계산기간이 길수록 함양량을 과소평가 한다고 하였으며(Rushton and Ward, 1979), 계산간격이 10일이상일 경우 물수지분석방법이 단기간내 발생하는 함양을 반영하지 못하므로 큰 오차가 발생한다고 하였다(Howard and Lloyd, 1979).

물수지분석에 의해 산정된 함양량을 지하수위 변동법이나 지하수유동모델링과 같은 다른 함양량 산정법의 결과와 비교하고 물수지분석 방법을 보정하면 오차를 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Lerner, 1990, Sophocleous, M.A., 1991).

국내 많은 연구자 및 연구기관은 지하수개발가능량 또는 함양량을 추정하기 위하여 주로 물수지방법을 많이 이용하였다. 이 방법은 오래 동안 사용하여 왔지만 증발산량 계산에 어려움이 있으며, 지하수위의 감수기간 뿐 아니라 함양기간까지 고려하여 하천유출곡선으로부터 기저유출을 분리하는 방법으로 우리나라 5대강유역에 적용 하였다(박, 1996). 또한 기저유출분리방법으로 낙동강유역에 적용하였으며(원 등, 2000), 지하수위감수기간으로부터 지하수위 월강하량과 최대 강하량의 비에 비례하는 지하수함양량 추정기법을 제시하였다(최 등, 1998).

제주도내의 지하수함양량에 대해 1971년도부터 연구하여 왔고 여러 기관에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 제주도는 독립된 유역경계를 갖고 있음에도 전체의 지하수체에 대한 함양량은 추정되어 왔다. 강우량과 증발산량의 변화에 따라 강우량에 의한 지하수함양량은 최고가 46.4%에서 최저 39.9%로 추정되어 왔을 뿐이다.

농업진흥공사(1971)는 제주도의 물수지분석을 최초로 실시하여 강우량의 39.9%가 함양되어 총1,140백만톤/년간으로 추정하였으며, 년강우량은 1,578mm였다. 산업기지개발공사(1981년)는 비교적 장시간의 강우량 자료를 보유한 6개 관측지점의 자료를 이용하여 등우선법에 의해 유역 평균 강우량을 산정하여, 강우량 1,870mm를 기준으로 직접유출은 21.8%, 증발산량은 32.6%, 지하수함양량은 45.6%라 하였다. 여기서 직접유출량은 SCS방법에 의한 북부지역 계산결과와 하와이군도의 유출자료 및 제주도의 암종분포를 고려하여 추정하였으며, 잠재증발산량산출은 Penman공식으로 계산하고, 실제증발산량은 잠재증발산량과 강우량자료를 이용하여 토양수분평형법으로 계산하였다. 농어촌진흥공사(1989)는 유역평균 강우량을 산업기지개발공사(1981)의 등우선도 작성결과와 신규 수집된 강우량자료를 이용하여 계산하고, 직접유출량은 기존조사결과를 이용하여 추정하였다. 물수지분석 결과 강우량대비 직접유출량은 20.0%, 증발산량은 33.6%, 지하수함양량은 46.4%로 나타났다.

최순학(1990)은 년 평균 강우량 1,630mm에 직접유출율은 26.0%, 증발산량은 34.0%, 지하수함양량은 40.0%로 산정 하였으며, 한국수자원공사(1990, 1993)는 지하수함양률을 각각 43.3%, 44.1%로 산정하였고, 최근에는 한국수자원공사(2003)에서 과우년, 다우년으로 분리하여 40mm이상 호우에 대해 유출율을 산출하여 지하수함양률을 45.8%으로 추정하였다.

3. 연구목적

제주도의 지하수함양량을 보다 정밀하게 산정하기 위하여 16개 수역의 일부인 애월수역(85.3km²)을 선정하고 애월읍 장전리와 고성리 일대의 독립된 소유역(9.03km²)에 위치한 고성천을 중심으로 강우량, 하천유출량을 측정하였다. 강우량특성을 세부적으로 파악하기 위해 간이강우량측정기를 3개소에 설치하고, 강우발생시 건천의 하천수위와 하천의 유속을 측정하여 하천수위-유속 관계곡선을 유도하고, 물수지분석법에 의해 지하수함양량을 산정하였다. 또한 이 결과를 이용하여 유출곡선지수(CN)를 최적화 하여 지하수함양량을 재 산정하였다. 기존의 수문학적분류에 의한 토양 및 토양이용특성으로 유출곡선지수(CN)를 산출하고 물수지분석을 실시하였으며, 이 결과를 바탕으로 지하수함양량의 차이를 분석하였다.

이 연구는 제주도의 강우량-하천 유출특성을 분석하여 향후 지하수자원의 보전·관리, 용수개발, 하천홍수발생에 따른 재해방지대책, 물수지분석, 제주도 토양특성분류 등에 중요한 기초정보로 활용하는데 있다.

II. 연구대상 유역 및 방법

1. 연구대상 유역

연구대상은 애월수역(85.3km²)인 제주도 애월읍 장전리, 고성리 일원으로서 제주시에서 6km 떨어진 곳에 위치하고 있으며 총 유역면적은 11.99km²이나 도로포장, 주택밀집 등 도시화 진행으로 투수성이 낮은 하류부의 면적 2.96km²를 제외한 9.03km²만을 연구대상유역(Fig. 1)으로 선정하였다. 이 유역에 발달한 하천은 고성천으로 총연장은 15.9km이며, 연구지역내 하천총연장은 8.21km이다. 하상상태는 사력, 자갈과 역으로 구성되어 있고 하천측벽과 하상에 부분적으로 점토층이 노출 되어 있다. 지질은 현무암류가 넓게 분포하고 있으며 토양은 전형적인 화산회토 특성을 지니고 있다.

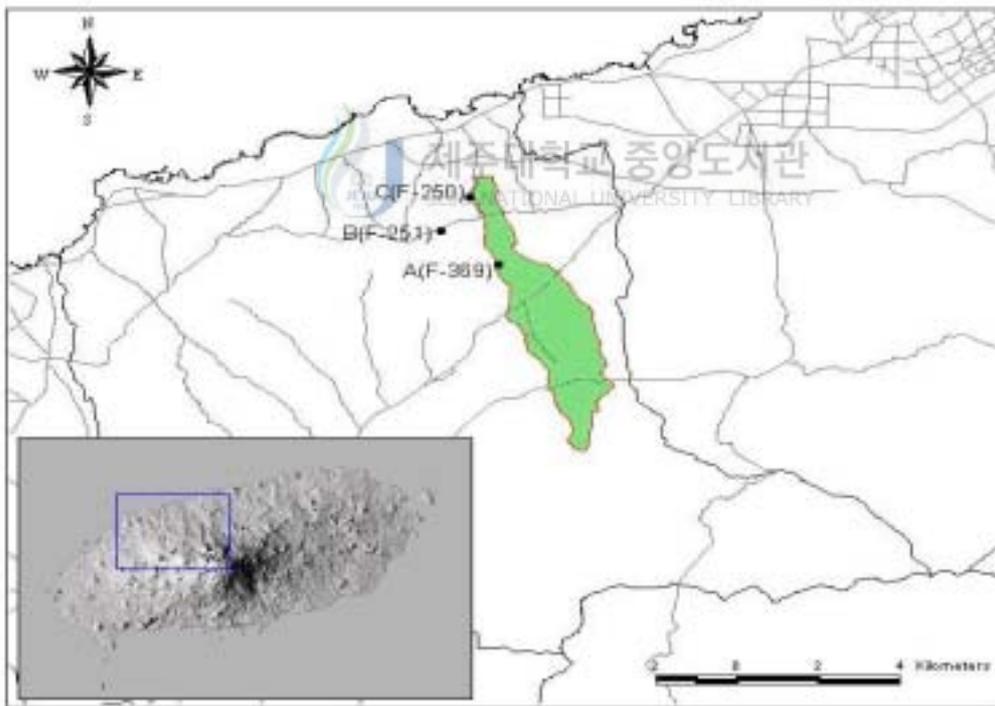


Fig. 1. Location of the study area

2. 연구 방법

이 연구에서 유역내의 강우특성과 이에 따른 하천유출특성을 분석하고 기존의 SCS방법과 하천의 직접유출량을 측정하여 지하수함양량의 관계를 서로 비교·검토하여 수리수문조사를 실시하였으며, 증발산량 산정은 경험공식에 의하여 산출하였다. 지하수함양특성을 분석하는데 물수지법(Water budget)을 이용하였다.

기상자료는 최근 5개년간 (1998~2002년)의 강우량자료를 활용하여 강우량을 분석하였으며, 연구지역의 강우량자료를 보정을 위해 유역 내 표고별로 3개소에 강우량계를 설치하여 1년간(2002~2003) 강우량자료를 취득하여 보정자료로 활용하였다. 강우량계는 Bucket형 자기우량계(KW-RG105)를 사용하였으며, 조사의 정밀도를 기하기 위하여 측정단위는 0.5mm로, 위치는 지상에서 2.0m이상 되는 곳에 설치하였고 최대장애물범위(30°)이내의 지점에 설치하였다. 기록장치 시계는 1시간당 강우량으로 저장하기 위해 CR10X 모델 Logger를 사용하였고, 측정기간은 2002년 5월 13일부터 2003년 3월 22일까지로 하였다.

하천수위를 측정하기위해 고성교의 하류부 교각의 측면과 정면 두 곳에 눈금의 식별이 용이하도록 흰색과 흑색의 교대눈금을 사용하여 수위표를 설치하고 현지측량하여 수리단면을 계산 하였다. 수위표의 높이는 하천바닥에서 2.0m까지 설치하였으며 눈금을 0~30cm까지는 2.0cm간격으로 표시하였고 30cm이상 높이에서는 5cm로 표시하였다. 하천유속측정은 봉부자에 의 방법과 전자기식유속계(Model -LP1100)를 이용하여 하천횡단면을 등간격으로 6개소의 측정지점 선정하여 유속을 측정하였다. 봉부자에 의한 측정은 임의거리 52.5m까지 도달한 시간을 초시계로 측정 하였다. 하천의 유출량을 계산하기 위해 하천의 폭과 하상의 구배를 사전에 측량하여 단면을 계산하고 유출량산정에 적용하였다.

잠재증발산량은 세계식량기구(FAO), 관개배수위원회(ICIP), 세계기상기구(WMO)에서 추천하고 여러 연구에서 가장 정확한 것으로 인정받고 있는 FAO Penman-Monteith방법을 이용하여 계산하였다.

Ⅲ. 지하수함량산정법의 이론적 배경

1. 물수지 방정식

수문분석에서 유역에 대한 물수지식은 다음과 같다.

$$P=E+T+F+R \quad (1)$$

P : 강우량, E : 증산량, T : 발산량, F : 지표유출량, R : 지하함양량
즉 어떤 지역(또는 독립된 유역)의 면적에 일정기간동안 내린 총강우량은 같은 기간 동안 발생하는 증·발산량과 지표유출량과 지하함양량을 합한 값과 평형상태를 이룬다는 가정이다.

물수지에 의한 함양량 산정의 가장 일반적인 방법은 간접적인(혹은 residual) 기법으로 함양량 요소를 제외한 모든 요소(변수)들은 측정하거나 계산으로 구한 후, 나머지 부분이 바로 함양량(R)요소가 된다. 물수지분석기법의 장점은 적용이 용이하다는 것과 시·공간적(예 : cm, sec~km, 100년)으로 넓은 범위에 걸쳐 적용이 가능하다는 것이다.

단점은 함양량(residual component)이 물수지식에서 측정되는 다른 요소들의 정확성에 의존한다는 것이다. 예를 들면 함양율의 크기가 다른 요소(변수)들, 특히 증발산량에 비해 작다면 제약은 크다고 할 수 있다. 그래서 Lerner et al.(1990)은 건조지역이나 아건조 지역에서의 물수지법 적용의 효용성에 의문을 제기하였다. 그러나 일 단위로 물수지를 계산하면, 어떤 건조한 지역(환경)에서라도 P 가 $E \cdot T$ 보다 훨씬 크기 때문에 적용상의 큰 문제는 없다.

물수지분석을 위해 직접유출은 토양과 토지의 피복 특성에 따라 쉽게 구할 수 SCS방법을 적용하였으며 증발산량 산정은 FAO Penman-Monteith방법을 이용하여 분석하였다.

2. SCS방법(Soil Conservation Service Method)

이 방법은 미국 토양보전국(Soil Conservation Service)에서 개발한 강우-유출모형으로 유역 내에 강수로 부터 직접유출의 자료가 없는 경우 유역의 토양특성과 식생 등에 대한 자료 만으로서도 총강우량으로부터 초과강우량을 산정할 수 있는 방법으로 초과강우량 또는 직접유출량을 구하는 공식은 다음 식과 같다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

F : 시간 t에서의 흙의 저류량(mm)

S : 흙의 최대 저류량(mm)

Q : 직접유출량(mm)

P : 강우사상별 강우량(mm)

강우로부터 발생되는 직접유출량은 흙이 최대로 저류할 수 있는 양(S)과 실제로 흙으로 흡수되는 물의 양(F)의 함수로 표시되며 $F = P - Q$ 이며, (2)식에 대입하면

$$\frac{(P-Q)}{S} = \frac{Q}{P}$$

$P^2 = (P+S)Q$ 이므로

$$Q = \frac{P^2}{(P+S)} \quad (3)$$

실제로는 강우발생초기에는 일정기간동안 강우의 전부가 침투되며 유출이 발생하는 것은 얼마의 시간동안 흙이 완전 포화된 후 발생하는 것이 보통이며 이 초기의 침투를 고려한다면 P값에서 초기손실(I_a)을 제하여 한다.

SCS는 경험에 의하여 $(I_a)=0.2S$ 의 관계를 수립하였으며 이를 식(3)에 대입하면

$$Q = \frac{P - 0.2S^2}{P + 0.8S}, P > 0.2S \quad (4)$$

$$Q = 0, P < 0.2S \quad (5)$$

여기서 최대 저류량 S는 Table 1과 같이 침투능력과 유출정도에 따른 토양의 종류, Table 3과 같이 토지이용에 따른 지표의 상태 등을 분석하여 호우의 특성과 유역의 특성에 따라 결정되며 유출곡선지수(runoff curve number, CN)라는 변수를 도입하면

$$CN = \frac{25,400}{S + 254}, \text{ 혹은 } S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (6)$$

따라서

$$P = F + I_a + Q \text{ 이므로}$$

$$F = P - I_a - Q \text{ 로 나타낼 수 있다.}$$

Table 1. Soil group by SCS

Hydrologic soil group	Soil characters
Type A	Low runoff potential High infiltration rate
Type B	Moderate infiltration rate
Type C	Low infiltration rate
Type D	High runoff potential Very low infiltration rate

Table 2. Antecedent soil moisture condition

AMC GROUP	Total 5-day Antecedent rainfall(mm)	
	Dormant season	Growing season
I	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
II	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
III	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

Table 3. Hydrologic soil-cover complexes(AMC-II, $I_a = 0.2 s$)

Cover Types	Cover condition & treatment	Curve numbers for hydrologic soil group			
		Hydrologic condition	A	B	C
Residential(m^2)	Aver.% impervious area				
<500	65	77	85	90	94
1,000	38	61	75	83	87
1,500	30	57	72	81	86
2,000	25	54	70	80	85
4,000	20	51	68	79	84
Paved parking lots,roofs,driveway,etc		98	98	98	98
Gravel streets		76	85	89	91
Dirt streets and roads		72	82	87	89
Commercial and business	Aver.85% impervious area	89	92	94	95
Industrial	Aver.72% impervious area	81	88	91	93
	Aver.65% impervious area	77	85	90	92
Open spaces (lawns,parks,golfcourses)					
poor	poor	68	79	86	89
fair	fair	49	69	79	84
good	good	39	61	74	80
Fallow	Bare Soil	77	86	91	94
	Crop residue cover (cr)				
	poor	76	85	90	93
	good	74	83	88	90
Row crops	Straight row(sr)				
	poor	72	81	88	91
	good	67	78	85	89
	Contoured(c)				
	poor	70	79	84	88
	good	65	75	82	86
	Contoured& terraced				
	poor	66	74	80	82
	good	62	71	78	81
Small grains	Straight row(sr)				
	poor	65	76	84	88
	good	63	75	83	87
	Contoured(c)				
	poor	63	74	82	85
	good	61	73	81	84
	Contoured& terraced				
	poor	61	72	79	82
	good	59	70	78	81

식(4)과 (6)를 이용하여 Table 2에서 보는 바와 같이 5일 선행 강우량에 따라 AMC-II 조건 하에서의 유출곡선지수별 총우량-유효우량간의 관계를 AMC - I, AMC-III 조건하에서의 값으로 조정하기 위해서 다음 관계의 식을 이용한다.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (7)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (8)$$

3. 증발산량 산정방법

잠재증발산량은 세계식량기구(FAO), 관개배수위원회(ICIP), 세계기상기구(WMO)에서 추천하고 여러 연구에서 가장 정확한 것으로 인정받고 있는 FAO Penman-Monteith 방법을 이용하여 계산하였다.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (9)$$

여기서, ET_o : 잠재증발산량(mm/day)

R_n : 순일사량(mm/day)

$(e_a - e_d)$: 증기압차(mbar)

Δ : 수증기압곡선

γ : 습도상수

G : 토양으로 흡수되는 열유동량

FAO Penman-Monteith 법에서는 위의 식에서 보듯이 표준증발산량을 계산하기 위해 필요한 기상자료는 대기온도, 습도, 일사량 그리고 풍속 등이다.

작물의 증발산량(ET_c)과 표준 증발산량(ET_o)의 차이는 지면 피복(ground cover), 덮개·차단(canopy) 특성, 작물의 공기역학적 저항의 차이이며 실제 작물(field crop)과 표준작물(reference grass surface)의 증발산량 차이는 작

물계수(K_c)에 의해 조정된다.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

작물계수에는 단일(single)과 이중(double)작물계수가 있는데, 여기서는 단일 작물계수에 한해서 설명하고자 한다.

위의 식에서 작물계수(K_c)는 주로 특정작물의 특성에 의해 변화하고, 기후조건에 의해서는 일정한 범위에 한해서만 변화한다. 그리고 식의 ET_c 는 표준상태하에서의 값을 나타내므로 이는 작물의 증발산량의 상한치를 대표하기에 필요하다면 ET_c 를 표준상태가 아닌 조건에서의 작물계수($ET_{c,adj}$)로 보정해 주어야 한다. 작물계수에 영향을 주는 요인으로는 작물형태와 기후조건, 토양면의 증발 그리고 작물의 생장(단계)기간이다. 일반적으로 작물간의 간격이 좁을수록, 작물의 높이가 클수록 다 자란 농작물의 거칠기(roughness)가 있을수록 작물계수는 1보다 커지는 데 그 증가범위는 약 5~10%정도이다. 작물은 성장하면서 지표면 피복, 작물 높이 그리고 잎, 면적 등이 변화하며 이에 따라 K_c 값도 작물의 생장단계에 따라 변화한다. 작물의 생장단계는 보통 초기(initial stage), 성장기(crop development), 중기(mid-season), 후기(late season)의 4단계로 구분한다.

실제증발산량은 제주의 일강우량 자료를 이용하여 10일 간격으로 토양수분 평형법(Soil Moisture Balance Method)으로 계산하였다.

$$SME = SMS + RR - K \times ET \quad (10)$$

여기서, SME : 期末 토양 수분량

SMS : 期初 토양 수분량

RR : 강우량

K : 증발산계수

위 식에서 증발산계수 K는 토양수분함량상태에 따라 100%로부터 영구위조점에서는 10%로 직선 변화하는 것으로 보았다. 계산과정에서 기말 토양수분이 150mm를 초과할 경우 초과수량은 침투 혹은 유출되는 것으로 보았으며, 영구위조점 70mm이하에서는 더 이상의 수분손실이 없는 것으로 보았다(건설부·제주도·한국수자원공사,1993).

4. 하천 유출량 산정법

하천유출량 산정을 위하여 하천유출수위측정하고 수하천수위에 따른 하천유속을 측정하였으며 봉부자와 유속계를 병행하여 측정하였다.

봉부자에 의한 유속측정은 미리 제작한 봉부자를 투하한 시간을 측정하고 임의의 구간까지 도달한 시간을 측정하여 부자의 수심과 보정계수를 이용하여 평균유속을 구하였다(Table 4).

Table 4. Stick float depths and adjustment factor

Classification	1	2	3	4
Depths(m)	0.7 below	0.7~1.3	1.3~2.6	2.6~5.2
Water- Line(m)	surface tention	0.5	1.0	2.0
Adjust. factor	0.85	0.88	0.91	0.94

Note) The standard of stream facilities(M.C.T, 1993)

하천의 유출수위가 70cm이하 이므로 표면부자방법을 사용하여 유속을 측정하였다.

$$V = \frac{L}{t} \times \alpha \quad (11)$$

V : 하천유속, L : 거리, t는 이동시간, α는 보정계수

측정은 거리 52.5m를 기준으로 도달거리를 stopwatch를 이용하여 시간을 측정하였으며 측정은 유속계측정 지점의 하류부에서 측정하였다.

유속계에 의한 유속측정은 전자기식 유속계(Model -LP1100)를 이용하였으며 측정지점은 연구지역말단부에 있는 고성교 직상류부이었다.

하천폭별 유속 측선수 기준(Table 5)에 의하여 하천폭이 20m이하이므로 측정지점은 하천폭 7.28m의 횡단면에 등간격으로 6개소측선을 배치하였고 (Fig. 2), 유속측정의 정밀도 향상을 위하여 해상용 유속계를 보정용으로 측정하였다.

Table 5. Number of measurements per widths of flow

Widths of flow	20m below	20~100m	100~200m	200m over
measured numbers	5	10	15	20

Note) Field hydrology(RDC, 1986)

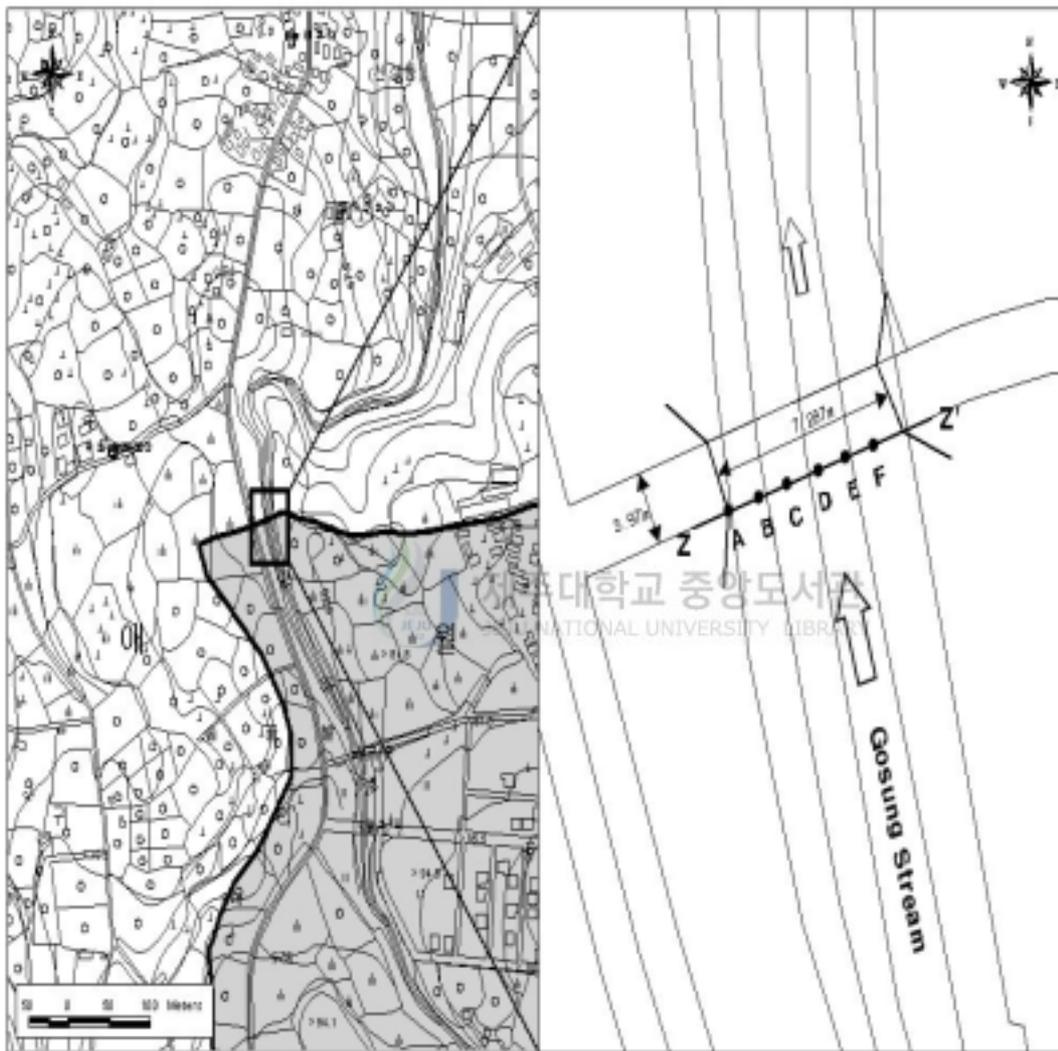


Fig. 2. Basin area of Gosung stream and observation location of runoff
z-z': Cross section line

IV. 소유역 개요와 특성

1. 지형특성

제주도는 신생대 제3기말에서 제4기초에 화산활동에 형성된 지형학적으로 유년기에 속하는 섬이다. 동북동 방향의 장축 약 74km, 북북동 방향의 단축이 약 32km인 타원형이다. 침식이 진전되지 못해서 원지형이 도처에 노출되고 있으며, 한라산을 중심으로 고지대를 제외하면 대부분의 경사가 완만한 지형을 이루고 있다.

해발 600m~1,000m사이의 산악지대는 경사가 10°~20°로서 한림대 및 온림대를 200m~600m사이의 중산간 구릉지대는 5°~10°의 완경사지를, 200m 이하는 5°미만의 평탄지로 대부분의 농경지 및 주거지가 이곳에 형성되어 있다. 특히 동부, 서부에는 경사도가 대체로 3°이하로 완경사인 용암평원이 자리 잡고 있으며 360여개의 오름들이 산재해 있다.

해안형성에 있어서 화산의 영향으로 해안선이 비교적 단조롭다. 수계는 한라산을 중심으로 방사상으로 발원하여 중류이하에서 30여개의 하천으로 되어 남류하거나 북류하여 해안으로 유입된다. 대부분의 하천은 강우시에 한하여 유하하는 이른바 건천이며 건기에도 흐르는 상시하천은 북류천중 도근천, 옹포천과 남류천중 중문천, 동홍천, 강정천, 창고천, 연외천, 좌면천, 효돈천 등 몇 개뿐이다.

본 연구지역의 고성천은 지방2급 하천으로서 노로오름(△1,069.9m)에서 발원하는 소지류와 산봉산(△651.6m)에서 발원하는 소지류가 합류하여 남남동에서 북북서로 하천을 이루면서 북하 하여 바다로 유입된다(Fig. 3). 하천의 폭은 최대가 24m이며 연구지역의 말단부 하천폭은 7.2m이고 하천측벽에는 부분적으로 점토층이 노출되어 있고, 하상은 사력, 자갈과 역으로 형성되어 있다. 상류부에는 하천발달이 미약하며 하상에 잡목 등으로 형성되어 있으며 하류부로 갈수록 암반에 노출되어 있다. 또한 하천은 유로 전체에 포

면수가 흐르지 않는 건천으로 형성되어 있으며 하천의 구배는 7/100 이다

총 유역의 면적은 11.99km²이며 하천의 총연장은 15.9km, 연구지역내 하천의 총연장은 8.21km이고 유역면적은 9.03km²이다. 하천형태는 수지상으로 하천차수는 2차이며, 하천의 합류 각도는 20°~60°이다.

하천의 밀도는 유역내의 지류의 많고 적음을 수량적으로 나타낸 것으로 본류와 지류를 포함한 전체하천의 총길이를 유역면적으로 나눈 값이다. 하천밀도 D는, $D = \frac{\text{본류와지류의총길이}}{\text{유역면적}}$ 으로 나타내며, 고성천의 하천밀도는 1.76이다. 하천밀도는 유역의 지형, 지표면 피복 상태에 관계가 있고 하천밀도가 크면 비교적 신속한 강우-유출이 나타난다. 표고별 면적을 보면 100m

이하 269,622m² 100m이상에서 300m이하는 2,870,276m², 300m이상은 5,893,217m²의 면적분포를 보이고 있다 (Fig. 4).



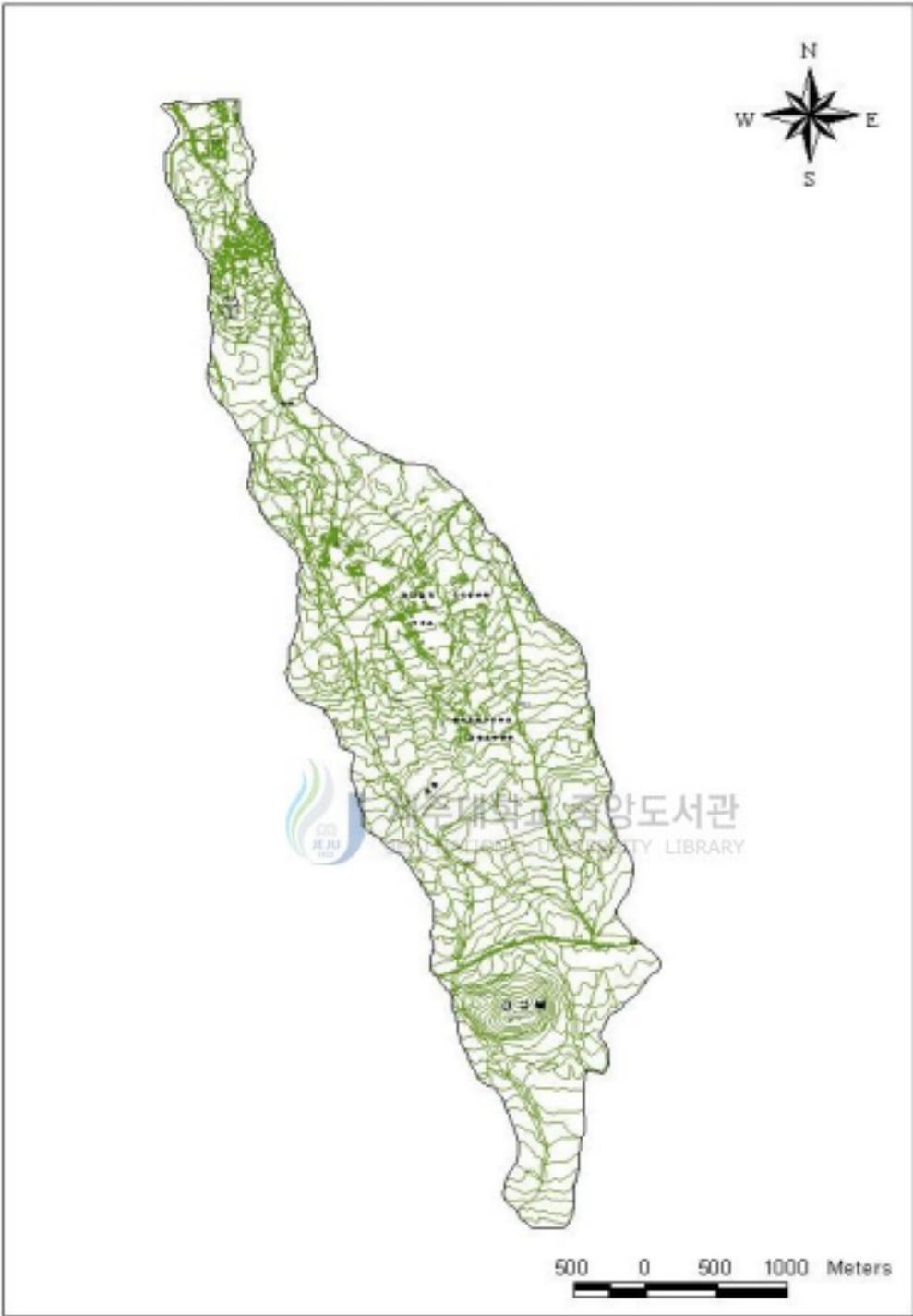


Fig. 3. Basin map in the study area



Fig. 4. Analysis of altitude in Gosung stream

2. 지표지질

제주도의 지표지질은 신생대 제3기말의 플라이오세 중기에서부터 제4기 플라이스토세말까지(대략 220만년전부터 2만5천년전)의 화산활동으로 형성된 화산지질로 구성되어 있다. 연구지역의 지표지질 또한 동시기의 화산활동에 따른 지질로 구성되어 있으며, 농업진흥공사의 지하수개발 타당성 조사를 위한 지하수보고서(1971)에 수록된 1/10만 제주도 지질도에 의하면, 연구지역의 지표지질은 하위로부터 반상휘석현무암 I, 장석현무암Ⅱ, 그리고 장석현무암Ⅵ가 분포하고 있고, 산심봉을 구성하고 있는 분석구층이 있다. 1/5만 애월도폭(제주도, 1998)에서는 하위로부터 미수동현무암, 수산봉분석구, 고성리현무암, 유신동현무암, 광령리현무암, 상전현무암으로 구분하였다.

연구지역에 가장 광범위하게 분포하고 있는 장석현무암Ⅱ는 반상휘석현무암을 피복하고 있으며, 암회색 내지 회색을 띠고 있다. 다공질이고 조립의 장석반정을 다량 함유하고 있으며, 사장석 70%, 감람석 5%, 그 외 부성분으로 철광물 및 유리질을 각 10%로 구성되어 있다.

반상휘석현무암 I 은 연구지역 동측 상하부에 넓게 분포하고 있는 암석으로서 다공질의 흑회색 내지 암회색의 암색에 반상구조를 보이며, 소량의 반정광물을 함유하고 있다. 반정광물은 휘석과 사장석으로 구성되어 있으며, 매우 소량의 감람석도 관찰된다. 본 암의 단위층 사이에는 크링커가 두껍게 발달하여 강수의 함양에는 매우 효과적인 암석이다.

연구지역의 지하지질은 대체로 상부에서부터 반상장석현무암, 장석현무암, 비현정질현무암 등 다종의 현무암들이 수매의 미고결 화산쇄설층과 퇴적층, 점토층을 협재하며 나타나고, 그 하부는 서귀포층으로 판단되는 해성퇴적층이 연속되어 있다(Table 6).

Table 6. Geologic stratigraphy

ADC(1971)		Jeju Prov.(1998)
Cinder cone	feldspar basalt VI	Sangjon basalt
	feldspar basalt II	Gwangreungri basalt
	porphyritic augite basalt I	Youshindong basalt Gosungri basalt Susanbong cindercone Misudong basalt

투수성지질구조라 함은 강수의 지하유입이 주변의 다른 지역보다 매우 높은 지질구조 또는 지질매체가 분포된 지점을 의미한다. 투수성지질구조 지역은 지하수의 함양이 잘 이루어지는 만큼이나 지하수 오염취약성 또한 높은 곳으로 지하수의 함양기능의 유지와 오염예방을 위하여 투수성지질구조가 분포된 지역은 오염유해물질을 배출하는 시설 등에 대한 특별한 관리가 필요하다. 제주도의 투수성지질구조는 크게 6가지의 유형으로 분류하고 있다.(제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서)



1) 용 암 동 굴

용암내부에 형성된 원통형의 공동을 용암관(lava tube)이라 하는데, 이러한 용암관이 직경 수m, 길이 수100m~수km에 이르는 대규모의 용암관을 용암동굴이라 함.

2) 습 골

지표면에 공동 또는 열극이 노출되어 있어 강수가 무한히 유입되는 곳

3) 꽃 자 왈

교결되지 않은 각력 내지 아원력의 암괴들로 구성된 암괴상 아아용암(aa lava)류 지대

4) 오 림

스코리아(scoria)가 분화구 주변에 떨어져 쌓여 원형 또는 타원형의 산체를 형성한 분석구

5) 하 천

투수성이 매우 높은 절리대, 균열대, 파쇄대 등이 지표에 노출되어 발달

6) 스킨리아류퇴적층

스킨리아(scoria)들이 원형 또는 타원형의 산체를 이루지 않고 넓은 범위에 걸쳐 층상으로 퇴적되어 있는 것

3. 토양분류

농촌진흥청 농업과학기술원(1976)에서 제작한 정밀토양도를 보면 연구지역의 토양은 주요 19개 토양통으로 분류하였으며 주요토양별 세부특성은 다음과 같다.

1) 강정통

강정통은 현무암에 기인된 홍적층을 모재로 한 토양이며 주로 해안평탄지에 분포하고 있다. 이 토양은 식질토로서 토양배수가 약간 양호하고 토심은 깊다. 표토는 암황갈색의 미질양토이며 심토는 황갈색에 회색반점이 있는 미사질 식토이다.

2) 교래통

분석구의 붕적층을 모재로 한 토양이며 분석구의 산록경사지에 분포하고 있다. 이 토양은 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토는 암갈색의 자갈이 있는 미사질 양토이며 심토는 적갈색, 황적색의 미사질식양토이다.

3) 구엄통

현무암을 모재로 한 토양이며 해안평지에 분포하고 있다. 이 토양은 조천, 동귀 및 하원통과 서로 인접하여 있으며 토양배수가 양호하고 토심은 보통이다.

4) 균산통

현무암, 조면암 및 안산암을 모재로 한 토양이며 해발700m이상의 산악지에 분포한다. 이 토양은 논고, 노로, 흑악, 적악 및 토산통과 서로 인접하고 있으며 토양배수가 매우 양호하고 토심은 얇다. 토양의 형태적 특성을 보면 표토는 농암갈색의 미사질 양토로 암반이 노출되어 있으며 암반까지의 깊이는 30cm내외정도이다.

5) 노로통

현무암을 모재로 한 토양으로 주로 700m 고지 이상의 산악지에 분포한다. 이 토양은 균산, 적악, 논고, 토산, 흑악통 등과 서로 인접되며 암적갈색의 둥근바위가 있는 사양질계 토양으로 토양배수는 양호하고 토심은 보통이다.

6) 동귀통

현무암에 기인된 봉적층을 모재로 한 토양이며 해안평탄지에 분포한다. 이 토양은 오라, 이도, 조천 및 구엄통 등과 서로 인접하며 미사질양질로서 토양배수는 양호하며 토심은 깊다. 표토는 암갈색 및 암황갈색의 자갈이 있는 미사질 양토이며 심토 및 기층은 암황갈색 및 황갈색의 자갈이 있는 미사질양토 및 미사질식 양토이다.

7) 동홍통

현무암의 홍적층을 모재로 한 토양으로 해안평탄지에 분포한다. 이도, 강정, 영락, 무릉통 등과 서로 인접하고 암갈색의 미사질 양토로서 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토는 암갈색의 미사질양토이고 상부심토는 암황갈색 및 황갈색의 미사질식양토이며 하부심토는 미사질 식토이다.

8) 민악통

현무암에 기인된 화산회를 모재로 한 토양이며 용암류대지에 분포한다. 송당, 위미, 중문 및 평대통과 서로 인접되어 있으며 돌 또는 둥근 바위가 있는 미사사양질로서 토양배수가 양호하고 토심은 보통이다. 이 토양의 표토는 흑색 내지 농암갈색의 둥근 바위가 있는 미사질 양토이다. 심토는 농암회갈색의 돌이 있는 미사질 양토이고 기층은 암황갈색의 돌과 둥근 바위가 있는 미사질양토 및 양토이다.

9) 송당통

현무암에 기인된 화산회를 모재로 한 토양으로 용암류대지에 분포하고 있다. 표선, 남원, 신엄 및 김녕통과 서로 인접하여 있으며 화산회층 하부는 양질로서 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토는 흑색내지 농암갈색의 미사질 양토이다. 심토는 적갈색 양토이며 기층은 암절갈색, 암황갈색, 암갈색의 사양토, 미사질양토 혹은 양토이다.

10) 송악통

화산분출물을 모재로 한 토양으로 용암류대지의 분석구에 분포하고 있다. 이 토양은 교래, 오라, 제주통과 서로 인접되며 미사질 양질로서 토양배수가 양호하고 토심이 깊다. 표토는 암적갈색의 미사질양토이며 심토는 적갈색의 미사질식양토이며 기층은 황적색 내지 암적회색, 잡색의 분석이 있는 미사질 양토이다.

11) 아라통

현무암에서 기인된 화산회를 모재로 한 토양으로 용암류대지에 분포된 토양이다. 제주, 아라, 중문 및 중엄통과 서로 인접하여 미사 식양질로서 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토는 농암회갈색의 자갈이 있는 미사질양토이며 심토는 암황갈색의 자갈이 있는 미사질양토 또는 미사질식양토이다.

12) 용흥통

현무암에 기인된 홍적층을 모재로 한 토양으로 해안 평탄지에 분포하고 있다. 대정, 용강, 구엄, 월평, 무릉, 및 오라통과 서로 인접하고 있으며 식질계 토양으로서 토양배수가 양호하며 토심은 깊다. 표토는 농암회갈색 또는 암갈색의 자갈이 있는 미사질식양토이며 심토는 암회갈색 또는 암황갈색의 자갈이 있는 미사질식토이다.

13) 이도통

현무암에 기인된 충적층을 모재로 한 토양으로 용암류평탄지에 분포한다. 동귀, 용흥, 구엄 및 조천통과 서로 인접되며 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토는 암갈색의 미사질 양토이며 심토는 황갈색의 미사질양토 내지 미사질 식양토이다.

14) 제주통

현무암에 기인된 화산회를 모재로 한 토양으로 용암류대지에 분포 한다. 이 토양은 중엄, 오라, 한림, 아라 및 중문통과 서로 인접되며 미사식양토로서 토양배수가 양호하고 토심은 깊다. 표토가 농암회갈색 및 암회갈색의 미사질양토, 자갈이 있는 미사질양토, 혹은 둥근 바위가 있는 마사질 양토이다. 심토는 암황갈색의 미사질양토 내지 미사질식양토이다.

15) 중문통

현무암에 기인된 화산회를 모재로 한 토양으로 용암류대지에 분포한다. 오라, 구좌, 중엄 및 민악통과 서로 인접되며 토양배수가 양호하고 토심은 보통이다. 표토가 농암회갈색 및 암회갈색 미사질양토 및 돌과 둥근바위가 있는 미사질 양토이다. 심토는 암황갈색의 돌 및 둥근바위가 있는 미사질양토이다.

16)오라통

표층토는 농암회색 자갈이 있는 미사질 양토이며 심토는 농암회색 자갈이 있는 미사질양토 그리고 기층은 갈색 자갈이 있는 양토이다. 바람의 침식의 저항성이 크며 물빠짐 속도가 느리다.

※ 사양토(砂壤土, sandy loam)

토성의 한 구분. 20%이하의 점토, 모래 52%이상, 미사 50%이하, 점토 7%이하 범위에 있는 토양.

※ 사토(砂土, sandy soil)

모래가 많이 섞인 흙이나 땅. 모래흙.

※ 식토(埴土, clay soil)

점토함량이 40%이상이고 모래 45%이하, 미사 40%이하인 토양

※ 식양토(埴壤土, clay loam soil)

점토함량이 27~40%이고 모래함량이 20~45%인 토성.

※ 양토(壤土, loam)

점토함량이 25~37.5% 범위인 토양을 일반적으로 양토라 함. 양토는 토양 통기나 양분 및 수분 보유력 등으로 볼 때 작물생육에 적합한 토양에 속함.

연구지역 토양통을 허기술, 정정화(1987)의 분류방법을 이용하여 SCS의 수문학적 토양군으로 분류하면 Table 7과 Fig. 5와 같다.

Table 7. Hydrologic soil groups for the study area

Hydrologic soil group	Name of soil
Type A	Minag(Mg), Ara(Aa)
Type B	Geunsan(Gn), Noro(No), Songdang(Sd), Jungeom(Je)
Type C	Aeweol(Aw), Donggui(Dg), Donghong(Dh), Ido, Jeju(Jj), Jungmun(Jm), Pyeongdea(Pd), Gyorae(Gr), Gueom(Go), Songag(Sa), Ora, Flood basin(fb)
Type D	Gangjeong(Gj), Youngheung(Yh)

Note) Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers(VOL37, NO6)



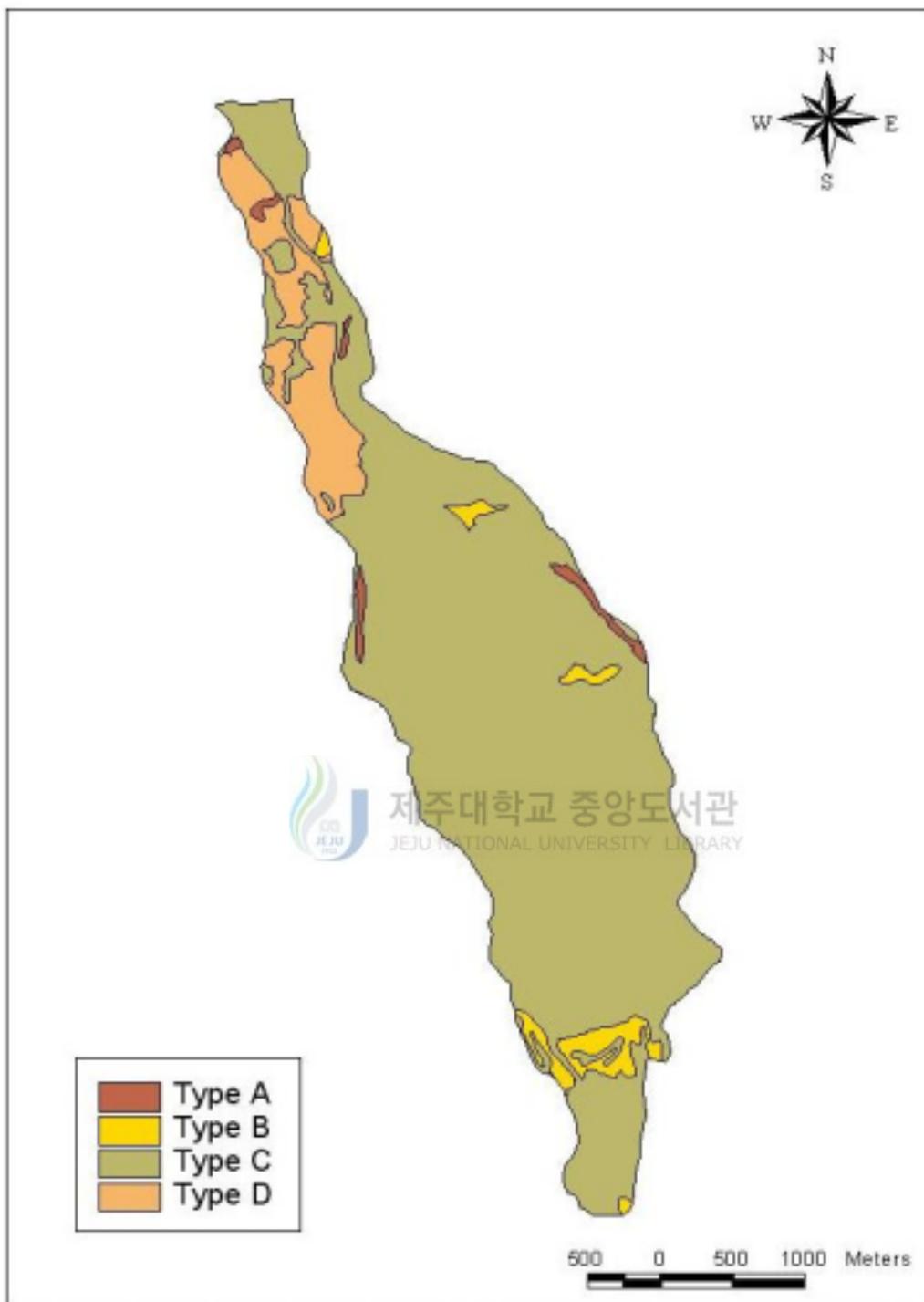


Fig. 5. Hydrological soil map

V. 하천유출량 산정

1. 토지이용

연구지역의 토양은 19개 토양으로 구성되었으며 총면적 9,033천 m^2 면적 중에서 도시취락지, 도로가 각각 1.77%, 1.65%이며 시설용지가 1.78%이다. 대부분은 밭, 초지, 산림, 잡목지, 과수원등이 94%이상 차지하고 있으며 투수성 양호한 토양이 대부분이다.

Table 8에서 와 같이 주요 토양 형태에 따른 분류에서 도시지역취락지, 도로, 기타시설용지는 등은 불투수지역으로 적용하고 하천은 건천형태를 보이며 자갈로 피복되어 있어 비포장도로를 적용 하였다(Fig. 6). 토양별 특성을 보면 주로 Silty loam으로 구성되어 있고 오라통의 토양이 전체면적의 34.7%를 차지하고 있으며 토양심도가 가장 깊은 것은 동홍통으로 130cm를 보인다(Table 9). Table 1에서 보는 것과 같이 유출률이 낮고 침투성이 높은 토양 Type A에 속하는 면적은 116,457 m^2 로 전체면적의 1.2%에 불과하며 토양Type B에 속하는 토양면적은 3.4%, 토양Type C에 속하는 토양의 면적은 전체면적 중 86%(7,761천 m^2)로 대부분의 토양을 차지하고 있으며, Type D의 토양은 9.3% 정도이다(Table 8, 10).

토양별 유출곡선지수는Table 8에서 보는 것과 같이 Type A토양은 CN값이 43으로 계산되었으며, Type B토양은 61, 대부분의 토양을 차지하는 Type C는 74이며, Type D는 86를 보이고 있고, 평균 CN값은 75으로 계산되었다. 이는 분포면적이 가장 많은 Type C의 토양이 연구지역의 CN값에 물수지분석에 중요한 토양분류에 속해 있다(Fig. 5).

Table 8. Types of soil, area and, index of runoff curves

Types of soil	Area(m ²)	Averages of CN
Type A	116,457	43
Type B	309,392	61
Type C	7,761,665	74
Type D	845,601	86
계	9,033,115	75

Table 9. Specification of soil in the study area

Soil name	Area (m ²)	Ratio of area (%)	Soil depths (cm)	Soil Texture
Gj	47,072	0.5	100	silty loam
Gr	71,569	0.8	55	silty loam
Go	54,856	0.6	60	silty loam
Gn	15,726	0.2	14	silty loam
No	8,564	0.1	40	silty loam
Dg	643,349	7.1	60	silty loam
Dh	31,369	0.3	130	silty loam
Mg	30,665	0.3	60	silty loam
Sd	216,122	2.4	80	silty loam
Sa	333,890	3.7	110	silty loam
Aa	85,792	0.9	20	silty loam
Aw	14,546	0.2	50	silty loam
Ora	3,138,495	34.7	55	silty loam
Yh	798,529	8.8	60	silty loam
Ido	160,984	1.8	45	silty loam
Jj	1,723,321	19.1	120	silty loam
Jm	624,624	6.9	60	silty loam
Je	68,980	0.8	65	silty loam
Pd	511,294	5.7	43	silty loam
fb	453,368	5.0	0	
Total	9,033,115			

Table 10. Land use squares of the soil groups

(unit : m²)

Soil name	Residential	Field	Fruit farm	Grass	Brush	Forest
Total	160,433	1,949,791	734,292	3,669,500	659,589	1,504,076
Gj		21,963	18,365		5,011	97
Gr		3,763	10,357	866	6,760	49,212
Go		27,511		802	5,334	10,434
Gn	7,339	76	4,139		2,425	
No						8,564
Dg	71,474	189,254	123,391	71,528	73,915	74,790
Dh		24,748	269	6,141	210	1
Mg		4,503	1,881	4,294	6,570	12,586
Sd				160,657	6,746	47,589
Sa		21,187	26,878	33,990	13,677	237,590
Aa	9	29,707	5,967	8,943	25,160	14,465
Aw		9,644	3,758		782	
Ora	29,511	946,983	184,196	1,443,382	138,938	270,979
Yh	37,568	281,457	241,980	40,823	106,387	40,162
Ido		87,221	5,590	35,983	11,123	4,848
Jj	1,312	138,200	40,761	1,125,884	95,123	258,767
Jm	7,479	91,693	15,238	312,070	67,920	102,679
Je		22,486		25,643	10,286	9,476
Pd				309,581		201,713
fb	5,741	49,395	51,522	88,613	83,222	160,124

Table 10. Continued

(unit : m²)

Soil name	Farm facilities	Graves yard	Drive way	Stream	etc	Total
Total	160,818	4,142	149,072	13,847	27,555	9,033,115
Gj			1,636			47,072
Gr			611			71,569
Go	9,739		1,036			54,856
Gn			1,261	486		15,726
No						8,564
Dg	14,905		20,545	3,547		643,349
Dh						31,369
Mg			831			30,665
Sd			830			216,122
Sa			568			333,890
Aa			1,254		287	85,792
Aw			362			14,546
Ora	47,643	4,142	51,725	2,257	18,739	3,138,495
Yh	20,827		19,215	1,581	8,529	798,529
Ido	16,142		77			160,984
Jj	36,809		25,919	546		1,723,321
Jm	12,314		13,288	1,943		624,624
Je	209		880			68,980
Pd						511,294
fb	2,230		9,034	3,487		453,368

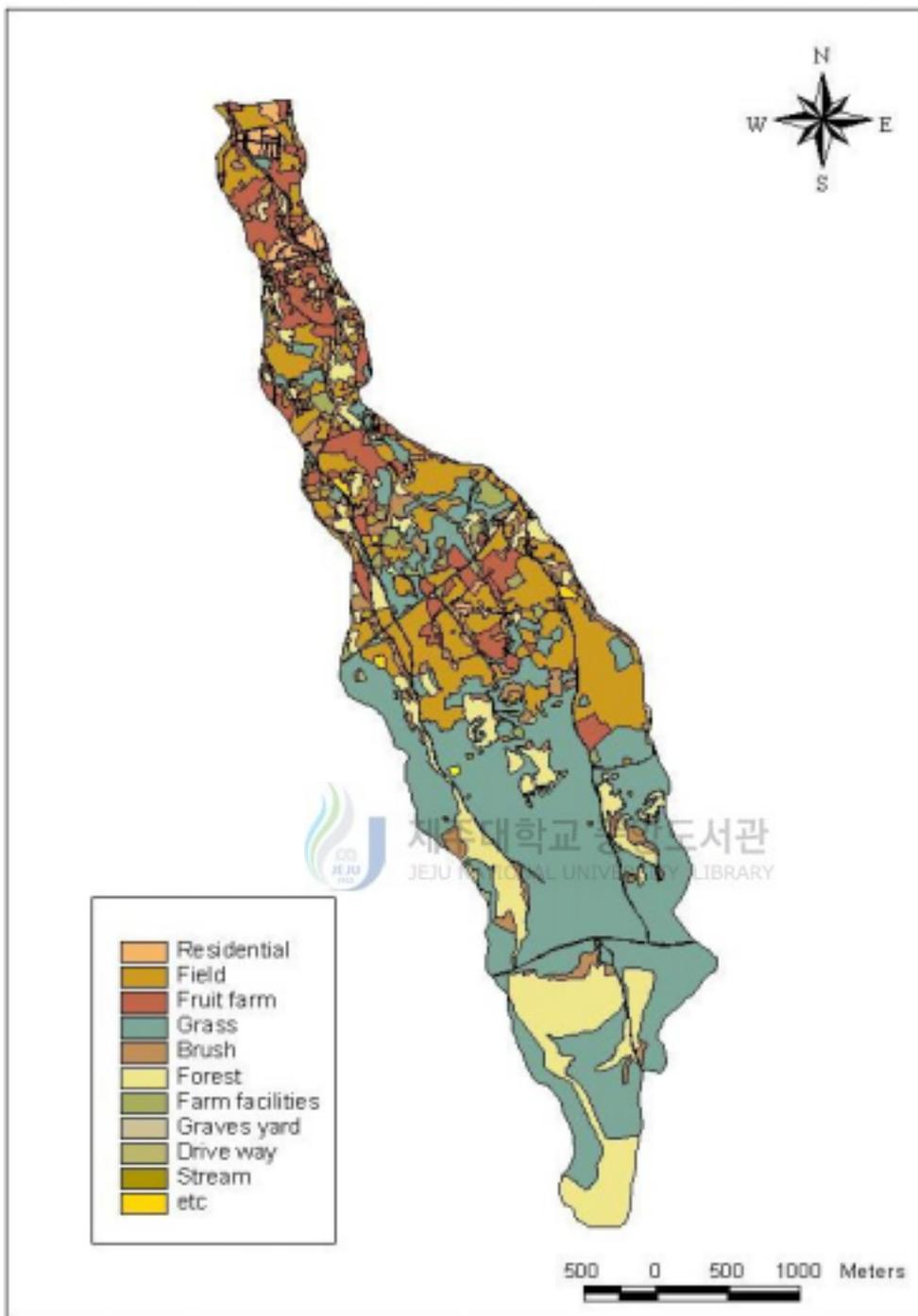


Fig. 6. Land use of the soil groups in the study area

2. 강우량의 측정 과 분석

1) 강우량 측정

하천유출과 강우량과의 관계를 분석하기 위하여 3개 지점에 강우량관측소를 설치하였다(Table 11).

Table 11. Observation locatoin for rainfall during 2002.5.13~2003.3.22

Observation locatoin (well code)	Altitude (m)	Rainfall (mm)	Coordintaes	
			X	Y
A(F-369)	223.0	1,869	145547	44379
B(F-251)	127.84	1,694	144140	45370
C(F-250)	98.39	1,260	144848	46394

제주도 강우량의 공간적 분포를 보면 한라산의 높은 고봉으로 인하여 고지대에는 높은 강우량을, 저지대에는 낮은 강우량을 보이고 있다. 연구지역에서의 강우량계 설치 지점별로 보면 Table 11에서와 같이 관측소 A지점과 C지점간의 표고차이는 124.6m로 연구기간 동안 A지점의 강우량은 1,869mm를 보였고 C지점에서는 1,260mm를 보여주며, 표고 124.6m 대비 48% 증가함을 볼 수 있다.

이번 하천유출량측정에 이용된 강우는 2002년 7월 26일 10:00부터 7월 27일 10:00까지의 단일 강우이며 강우량누계는 151.5mm이었고 이 강우에 직전 선행강우는 5일전(7월 21일) 06:00부터 5시간동안 발생한 강우이며 08:00에 가장 많은 20.5mm가 발생하였고 강우량 누계는 44.5mm이었으며 하천유출은 발생하지 않았다. 또한 6일전(7월20일)에는 12시간동안 15.8mm의 강우량을 보였다.

2) 관측자료 분석

본 연구지역은 유역내에 기상관측소가 없는 관계로 인근 기상청 무인기상 관측시스템(AWS)의 어리목, 유수암, 제주공항, 제주기상관측소를 기본자료로 사용하였으며, 유역내에 직접 설치한 자동강우량 측정장치의 자료를 활용하였다.

1998~2002년까지의 기상자료를 사용하여 등우선도를 작성하여 평균 강우량을 산출하였으며 년 평균 강우량은 1,677.8mm로 나타났다. 최고 강우량을 보이는 1999년에 2,526mm이며 최소강우량은 보이는 해는 1984년에 878.5mm로서 1,647.5mm의 차이를 보이고 있다(Fig. 7).

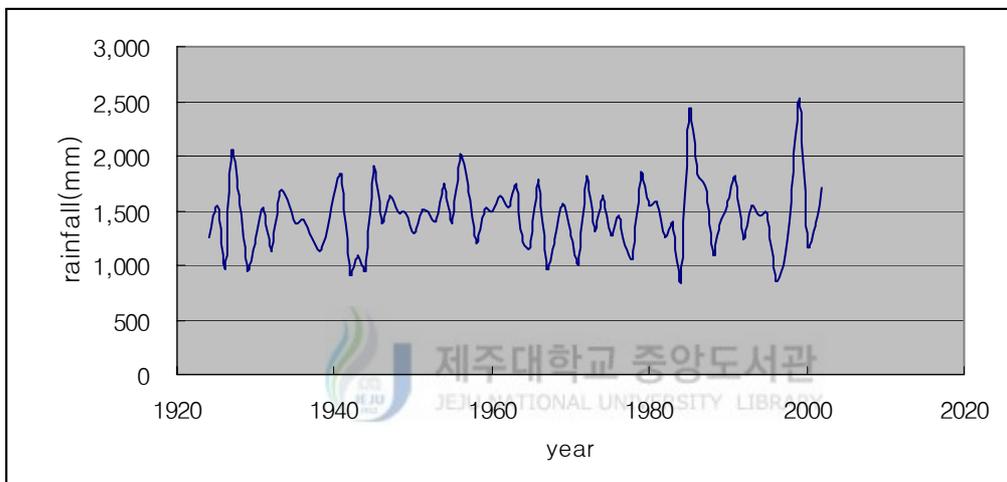


Fig. 7. Rainfall variation in Jeju island

79개년(1924~2002)간의 월 평균 강우량은 12월에 최소치인 56.5mm를 나타내며, 최대치는 8월에 245.5mm를 보이고 있다(Fig. 8).

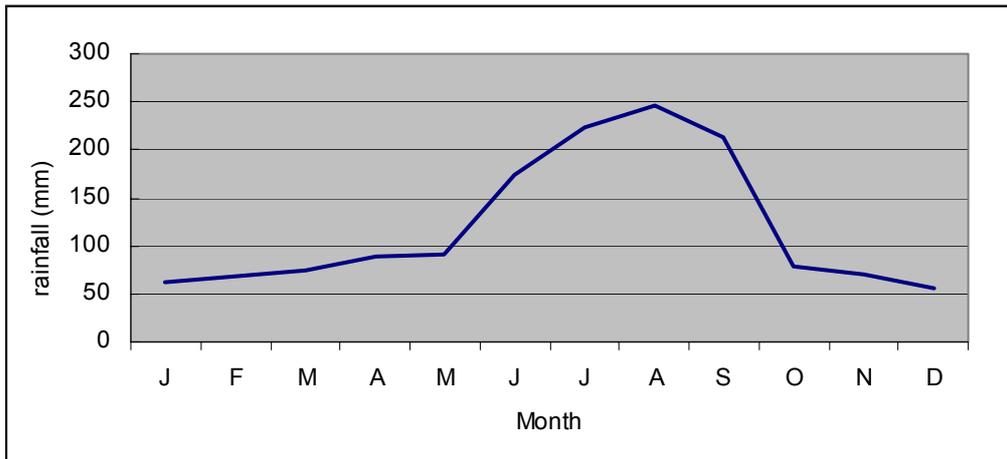


Fig. 8. Monthly rainfall variation in Jeju island

최근 5개년간(1998~2002)의 강우량자료로부터 년평균 강우량은 1,677.8mm이며, 최고 강우량은 1999년에 2,526mm를 나타냈다. 최저 강우량은 2000년에 1,189.4mm이었다.

Table 12와 Table 13에서 보는바와 같이 월평균강우량은 9월에 최고치인 301.1mm를 보이며, 최저 강우량은 11월에 39.5mm로 나타났다.

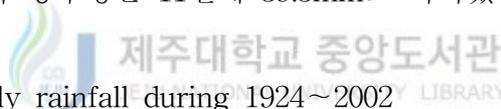


Table 12. Mean monthly rainfall during 1924~2002

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aus.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1998	170.2	59.7	110.4	196.2	116.5	228.2	111.5	75	413	70.1	19.6	10.7	1581.1
1999	84	62.4	110.4	37.5	79	204	706	642.8	508	41.2	24.9	25.8	2526
2000	60	16.3	43.5	32.8	46.2	97.6	166.2	169.6	331.2	113	93.2	19.8	1189.4
2001	117	81.9	21.9	62.6	105.4	259.7	123.1	233.9	109.7	123.8	42	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
Aver.	97.5	50.8	69.1	78.8	97.7	181.6	320.5	295.5	301.1	92.0	39.5	53.2	1677.8

5개년간의 총강우량은 8,389.2mm로 년 평균 1,677.8mm로 나타났다. 시간당 최대 강우량은 64.0mm로서 1999년 8월3일 05:00에 발생하였다. Table

13에서와 같이 2시간 강우 중단된 후 연속강우량 총합은 40mm이상의 강우량이 3,988.3mm이고 80mm이상의 강우는 2,853.0mm로 나타났다.

또한 5시간 강우 중단 후 40mm이상 강우량은 4,787.9mm이고, 80mm이상은 3,271.7mm를 보였다. 12시간 강우 중단 후 연속되는 강우량의 깊이가 40mm이상은 5,216.6mm이었고 80mm이상은 3,613.8mm이었다. 24시간 강우 중단 후 40mm이상의 강우량은 5,523.8mm이었고 80mm이상은 3,994.0mm이었다.

Table 13. Total rainfall depth after rainfall stopping for several hours in 1924~2002

Rain fall(mm)	2 hours	5 hours	12 hours	24 hours
40	3,988.3	4,787.9	5,216.6	5,532.8
45	3,776.4	4,658.8	5,051.2	5,410.2
50	3,394.4	4,330.6	4,765.6	5,170.3
55	3,183.2	3,969.0	4,299.6	4,803.4
60	3,125.4	3,684.4	4,013.9	4,342.8
65	3,001.4	3,560.3	3,889.8	4,342.8
70	3,001.4	3,490.6	3,684.3	4,136.2
75	2,928.4	3,347.1	3,613.8	3,994.0
80	2,853.0	3,271.7	3,613.8	3,994.0

3. 하천유출량 측정 과 분석

1) 하천수위측정

하천유출발생은 누계강우량 66mm이상 일 때부터 시작되었으며 Fig. 9는 2002년 7월 26일 10:00부터 7월 27일 10:00까지 단일강우량누계 151.5mm 일 때의 하천수위측정 결과이다. 측정지점에서 유출이 발생된 시간은 최초강우가 시작된 후 5시간 50분이 지난 뒤에 발생하였으며 유출상태는 조금씩 하천수위가 증가되는 육지부의 하천유출 형태와는 다르게 하천수위가 급격히

증가되는 모습을 보이고 있다.

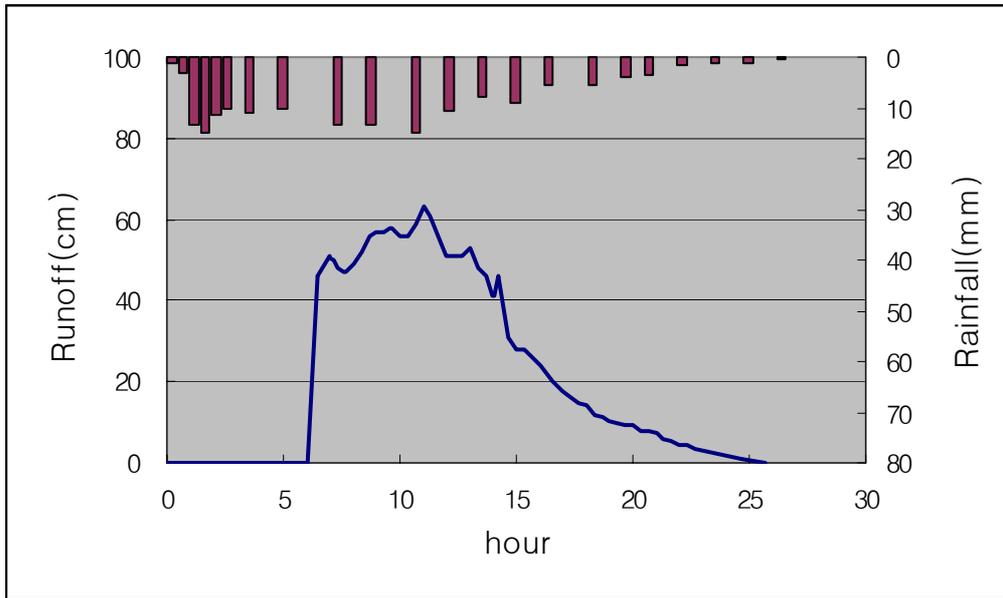


Fig. 9. Runoff depth with isolated rainfall in the study area

2) 하천유속측정

붕부자에 의한 유속측정은 하천의 유출수위가 70cm이하 이므로 표면부자 방법을 사용하여 유속을 측정하였다. 거리 52.5m를 기준으로 도달시간을 stopwatch를 이용하여 측정하였으며 연구지역 최하류부에서 측정하였다. 붕부자에 의한 유속측정결과는 Table 14와 같다.

Table 14. Velocities measured by stick float in the Gosung stream

Time of measured	length (m)	time (sec)	adjustment factors(α)	velocities (m/sec)
1st(18:14)	52.5	14.22 12.09	0.85	3.13 3.69
2nd(01:20)	52.5	15.12 14.75	0.85	2.95 3.55
3th(03:00)	52.5	22.00	0.85	2.02

유속계에 의한 유속측정은 전자기식 유속계(Model -LP1100)를 이용하였으며 측정기간은 2002년7월26일17:07에서 다음날 06:00까지 측정하였으며 하천수위가 10cm이하 일 때는 측정이 곤란하여 측정하지 못하였다. 측정지점은 Fig. 2에서와 같이 가상단면 Z-Z' 직선상을 6등분하여 A지점에서 F지점까지로 하였으며 하상, 중류, 표면유속등을 측정하였다. 유속측정 결과 아래의 식(12)와 Fig. 10과 같이 하천수위가 증가하면 유속이 빨라짐을 알 수 있다.

$$Y=0.0387X^{0.991} \quad (12)$$

Y : 유속(m/sec), X: 하천수위(cm)

시간별 유속측정 결과는 Table 15와 같다.

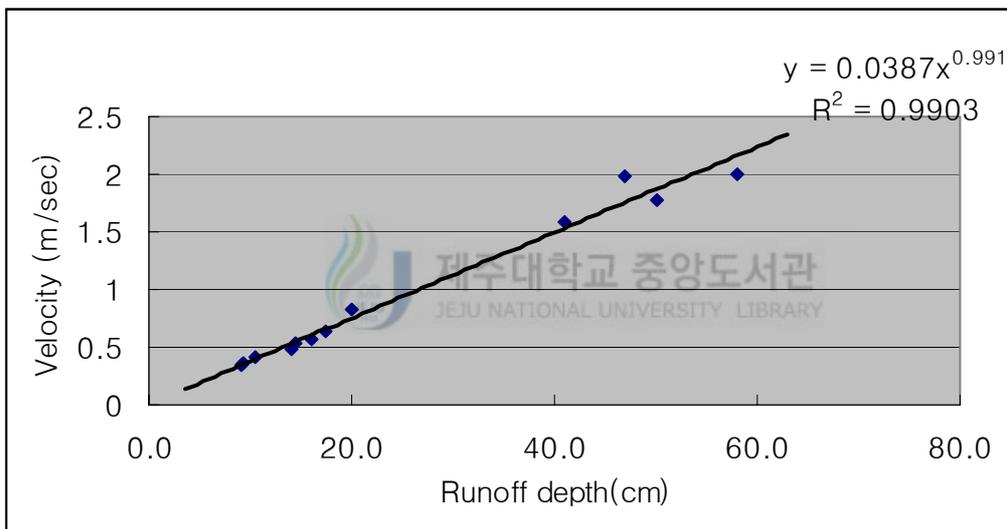


Fig. 10. Relationship between runoff depth and velocity at the stream in the study area

Table 15. Runoff velocities of each points at the stream

Obser.time	Runoff velocities of the stream(m/sec)					
	A point	B point	C point	D point	E point	F point
2002.7.26~.27						
17:07~17:35	1.41	1.96	1.44	1.84	2.45	1.56
17:35~19:35	1.91	1.93	2.12	2.70	1.89	1.44
19:35~0:05	1.34	2.54	2.3	2.49	2.31	1.00
0:05~02:35	1.3	1.81	1.59	1.73	1.86	1.25
02:35~03:00	0.55	1.03	0.93	0.93	1.03	0.55
03:00~03:20	0.5	0.77	0.63	0.63	0.77	0.5
03:20~03:40	0.49	0.69	0.53	0.53	0.69	0.49
03:40~04:00	0.49	0.65	0.5	0.53	0.65	0.47
04:00~04:50	0.37	0.64	0.45	0.52	0.64	0.37
05:00~05:40	0.27	0.54	0.43	0.43	0.54	0.27
05:40~05:50	0.22	0.40	0.50	0.50	0.40	0.24
05:50~6:00	0.16	0.40	0.50	0.50	0.40	0.16

3) 유출량 분석

금번연구에서 유출이 시작된 7월26일 15:50부터 유출이 종료된 7월 27일 12:40까지의 하천유출에 대해 유출량을 계산하였고 이때 발생된 총강우량은 151.5mm이었다. 하천단면적산출을 위하여 측량을 실시하였고 하천구배는 측정지점의 표고측량을 실시하였으나 하상이 하천다리 바닥면이라 평탄하여 고려하지 않았다. 하천수위와 유속과의 관계식을 이용하여 하천단위유출량을 계산하였다. 하천수위와 유량과의 관계식으로 통해 회귀분석결과에 따라 유출량을 계산한 결과 총 224,343m³이었고 Table 16에서 같이 총강우량 1,368,517m³의 16.3%의 유출을 보였다.

Table 16. Total rainfall and runoff in the study area

Rainfall duration	basin area(m ²)	rainfall (mm)	total rainfall (m ³)	runoff (m ³)	runoff (%)
2002.7.26 10:00~ 7.27 10:00	9,033,115	151.5	1,368,517	224,343	16.3

V. 물수지 분석과 지하수함양량 산정

1. 증발산량

증발산은 수표면 또는 습한 토양표면의 물 분자가 태양이 방사하는 열에 에너지를 얻어 액체 상태로 부터 기체 상태로 변화하는 과정(증발)과 식물의 엽면을 통해 토양속의 물이 수증기의 형태로 대기 중에 방출되는 과정(증산)을 말한다. 본 연구에서는 제주기상관측소의 1998년1월에서 2002년 12월까지의 기상자료를 이용하여 Penman-Monteith공식으로 잠재증발산량(유역의 토양이 수분으로 완전 포화되어 있는 상태의 증발산량)을 계산하였다. 토지이용별 잠재증발산량은 토지이용을 대표하는 식생의 작물계수를 적용하여 구하였고, 이 자료를 이용하여 토양수분 평형법으로 토지이용별 실제 증발산량을 계산하였다.

본 연구에서는 제주기상관측소의 1998년1월에서 2002년 12월까지의 기상자료를 이용하였다. Penman-Monteith공식으로 잠재증발산량을 계산하기 위해 일별 최대기온, 최저기온, 평균풍속, 평균습도, 일조시간의 자료를 이용하였다.

토지이용별 잠재증발산량을 구하기 위해 토지이용현황도를 식생측면에서 산림, 초지, 과수원, 밭, 논, 시가지(취락지)로 재분류하여 토지이용별 면적 Table 8을 구하였다.

작물계수는 작물의 종류, 생육단계, 기후조건 등을 고려하여 부여하였다. 제주도 산림은 낙엽성 수목이 많은 비율을 차지하고 있으므로 낙엽성과일(복숭아, 배등)의 작물계수를 부여하였고, 초지는 목초의 작물계수를 부여하였다(Table 17). 제주도 식물계절 관측자료에 의하면 생육기간이 4월 7일~10월 25일이므로(제주도 농촌진흥원, 1991) 생육기간은 4월~10월로 보았고, 생육기간이외의 작물계수는 0.5를 적용하였다. 과수원과 밭의 작물계수는 농림부·농어촌진흥공사(1999)의 「성읍지역 농촌용수개발사업 기본계획」 보고서에서 적용한 작물계수를 참조하여 적용하였고, 취락지역, 도로, 하천 등은

이 지역에 내린 강수가 대부분 지표유출되어 유역으로 배출되기 때문에 이 지역에서 증발산은 없는 것으로 간주하였다.

Table 17. Potential evapotranspiration calculated with crop coefficient

Use of lands	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aus.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
fruit farm	0.50	0.50	0.50	0.70	0.70	0.70	0.90	0.90	0.90	0.85	0.85	0.85
field	0.50	0.50	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90
forest	0.50	0.50	0.50	0.85	0.97	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80	0.50	0.50
grass	0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80

연구지역의 잠재증발산량을 산정한 결과는 Table 18~20 과 같다. 작물계수가 1인 기준작물의 1998년부터 2002년까지 연간 잠재증발산량은 978~1,093mm이며 이 기간의 평균은 년 1,026mm이다. 5년간의 평균 월별 잠재증발산량을 보면 5월~8월의 증발산이 가장 활발한 것으로 나타났다. 이 기간중에 7월이 평균 130mm, 8월이 126mm로 7월의 잠재증발산량이 가장 많은 것으로 나타났다. 월간 잠재증발산량은 1~2월, 12월이 약 50mm이하로 가장 적게 나타났다(Table 18).

토지이용별로 보면 5년 동안의 년평균 증발산량은 782~897mm로 토지이용에 따라 약 100mm 정도 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 20). 과수원이 782mm, 초지가 858mm, 밭이 897mm, 산림이 849mm로 밭의 증발산량이 가장 많고 과수원의 증발산량이 가장 적게 나타났다. 5년간의 평균 월별 증발산량은 5월에서 8월이 100mm 이상으로 많고 1~2월, 11~12월이 약 30mm이하로 적어 기준작물의 잠재증발산량의 월별 경향과 유사하게 나타나고 있다.

Table 18. Potential Evapotranspiration of Basal crop

(unit : mm)

Month	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	41	47	44	44	55	46
Feb.	46	51	54	48	55	51
March	67	62	84	85	86	77
April	75	93	109	101	96	95
May	101	120	116	112	100	110
June	95	105	112	117	132	112
July	142	102	147	152	107	130
August	141	100	148	131	111	126
Sept.	97	88	93	106	96	96
Oct.	71	82	75	86	80	79
Nov.	55	60	53	61	56	57
Dec.	46	52	49	50	40	47
Total	978	962	1,085	1,093	1,014	1,026

Table 19. Potential Evapotranspiration of Forest

(unit : mm)

Month	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	21	23	22	22	28	23
Feb.	23	26	27	24	27	25
March	33	31	42	43	43	38
April	64	79	93	86	82	81
May	98	117	112	109	97	107
June	95	105	112	117	132	112
July	142	102	147	152	107	130
August	141	100	148	131	111	126
Sept.	92	84	89	100	92	91
Oct.	57	66	60	69	64	63
Nov.	27	30	26	31	28	28
Dec.	23	26	24	25	20	24
Total	817	788	903	908	830	849

Table 20. Potential Evapotranspiration per land use

(unit : mm)

Month	fruits farm	grass	field	forest
Jan.	23	37	23	23
Feb.	25	41	25	25
March	38	61	38	38
April	67	81	71	81
May	77	93	109	107
June	79	95	113	112
July	117	111	130	130
August	113	107	126	126
Sept.	86	82	96	91
Oct.	67	67	71	63
Nov.	48	46	51	28
Dec.	40	38	42	24
Total	782	858	897	849

연구지역의 실제증발산량을 산정한 결과는 Table 21~23과 같다. 작물계수가 1인 기준작물의 경우 연간 실제증발산량은 658~811mm로 2001년이 811mm로 가장 많고 2000년이 658mm로 가장 적게 나타났다(Table 21). 5년간 평균 실제증발산량은 잠재증발산량의 72%에 해당하는 734mm이다. 이 기간동안의 평균 월별 실제증발산량을 보면 5월~9월의 증발산량이 66mm 이상이며 이 기간중에 증발산이 활발한 것으로 나타났다. 이 기간중 7월이 99mm, 8월이 86mm로 7월의 증발산량이 가장 많은 것으로 나타났다. 5년간 평균 월별실제증발산량은 1~2월, 11~12월이 약 40mm이하로 적게 나타났다.

토지이용별 5년동안의 년 평균 증발산량은 617~674mm로 토지이용에 따라 약 60mm 정도 차이가 있는 것으로 나타난다(Table 23). 토지이용별로 보면 과수원이 617mm, 초지가 659mm, 밭이 674mm, 산림이 643mm로 잠재증발산량과 마찬가지로 밭에서 실제 증발산이 가장 많이 나타나고 있다.

Table 21. Evapotranspiration of Basal crop

(unit : mm)

Month	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	39	27	31	37	43	35
Feb.	36	47	37	44	40	41
March	61	57	50	60	67	59
April	65	71	40	52	64	58
May	76	72	30	73	79	66
June	84	80	62	94	72	78
July	94	92	102	112	95	99
August	87	88	73	92	93	86
Sept.	53	82	78	83	76	75
Oct.	61	54	64	69	55	61
Nov.	30	33	48	49	45	41
Dec.	24	24	42	47	37	35
Total	710	728	658	811	766	734

Table 22. Evapotranspiration of Forest

(unit : mm)

Month	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	20	16	18	19	24	19
Feb.	21	25	24	23	24	23
March	32	30	38	37	41	36
April	48	56	50	55	60	54
May	59	67	36	65	60	57
June	63	65	56	73	61	64
July	90	83	96	104	87	92
August	84	81	72	85	86	81
Sept.	52	74	72	76	70	69
Oct.	53	50	57	63	50	55
Nov.	28	31	41	43	40	37
Dec.	23	24	37	41	32	31
Total	572	601	597	684	634	617

Table 23. Evapotranspiration of per land use

(unit : mm)

Month	fruits farm	grass	field	forest
Jan.	19.4	30.5	19.2	20.7
Feb.	23.4	35	23.4	23.4
March	35.5	51.3	35.5	35.5
April	53.9	56.2	56.6	61.9
May	57.3	61.9	73.1	69.5
June	63.6	72	79.4	79.6
July	91.8	87.7	99	99
August	81.4	78.5	86.4	86.4
Sept.	68.7	65.8	74.5	71.4
Oct.	54.5	54.8	56	51.6
Nov.	36.6	34.9	38.1	23.6
Dec.	31.3	30.1	32.7	20.6
Total	617	659	674	643

연구지역의 토지이용별 면적비율을 이용하여 산정한 유역의 년 평균 실제 증발산량은 Table 24와 같다. 연간 실제증발산량은 584~681mm으로 1998년이 584mm로 가장 적고 2001년이 681mm로 가장 많게 나타났다. 5년동안의 평균 연간 증발산량은 617mm로 이 기간의 평균 년강우량 1,677.8mm의 36.7%에 해당하고 있다. 5년간 평균 월별실제증발산량을 보면 1월~3월, 11월, 12월이 40mm이하이며, 4~ 6월, 9~10월이 약 50~70mm, 7~8월이 78~88mm로 계절적인 변화추세가 뚜렷이 나타나고 있다(Fig. 11).

Table 24. Evapotranspiration of the study area

(unit : mm)

Month	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	24	19	22	23	28	23
Feb.	23	29	27	27	27	27
March	37	35	41	41	46	40
April	52	60	47	53	61	54
May	67	70	35	70	69	62
June	74	73	58	83	65	71
July	85	81	92	100	84	88
August	79	78	68	82	83	78
Sept.	48	71	69	73	67	66
Oct.	50	47	53	59	47	51
Nov.	24	27	34	36	34	31
Dec.	20	21	31	34	27	27
Total	584	610	577	681	636	617

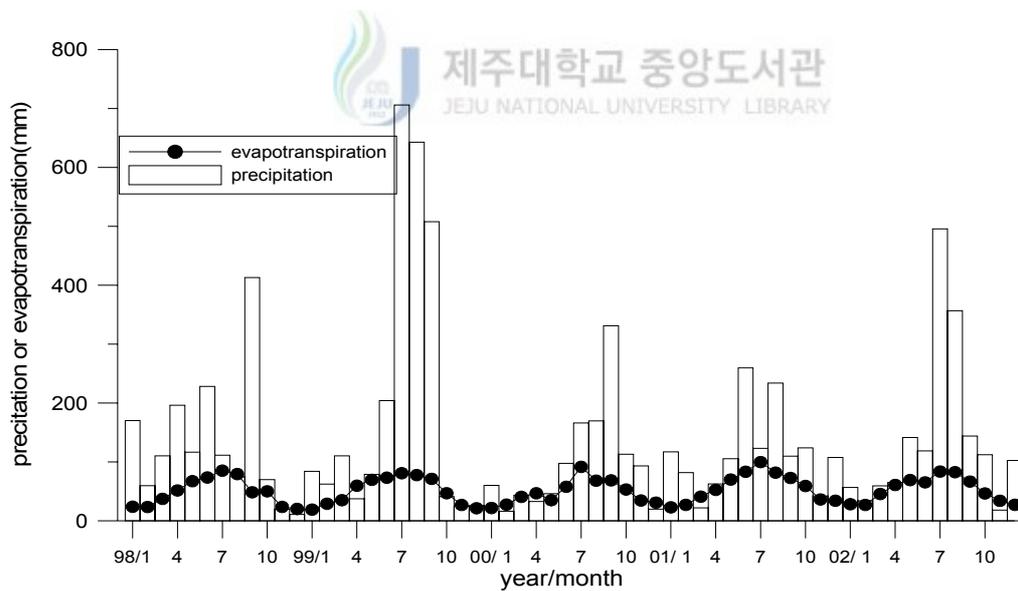


Fig. 11. Rainfall and evapotranspiration curve in the study area(1998~2002)

2. SCS모형에 의한 지표유출량 산정

최근 5년간의 총강우량은 8,389.2mm이었으며 년평균 강우량은 1,677.8mm이었다. 토양의 종류와 토지의 피복형태별 면적에 따라 구한 CN값이 75이었으며 SCS모형에 의한 유출량은 1999년에 954.8mm로 가장 많았고 2001년에는 86.32mm로 가장 적었으며 년평균 364.7mm로 21.7%의 유출량을 나타내고 있다(Table 25, Fig. 13).

Table 25. Estimation of direct runoff from SCS

(cn=75, unit : mm)

Month	Year					
	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	28.66	10.08	0	7.29	0	9.206
Feb.	0.09	0	0	1.2	0	0.258
March	0.99	0.7	0	0	0	0.338
April	17.1	0	0	0	0	3.42
May	6.14	0	0	0	4.47	2.122
June	6.94	8.86	0	45.72	1.65	12.634
July	6.43	362.97	17.27	0.63	250.07	127.474
August	0.14	355.52	12.36	30.32	102.4	100.148
Sept.	139.26	216.69	145.93	0.47	33.01	107.072
Oct.	0.09	0	0	0.66	0	0.15
Nov.	0	0	6.34	0	0	1.268
Dec.	0	0	0	0.03	3.15	0.636
Total	205.84	954.82	181.9	86.32	394.75	364.72

또한 지표유출은 강우량이 많은 7~9월까지 집중적으로 일어나고 있으며 겨울철인 12월~1월은 거의 일어나지 않은 것으로 조사되었다(Table 25, Fig. 12).

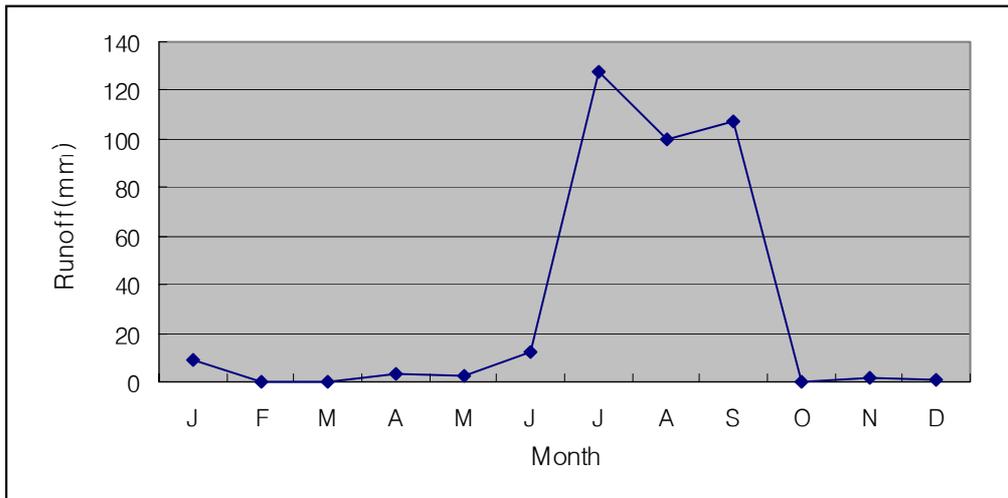


Fig. 12. Runoff curve of the month from CN of 75

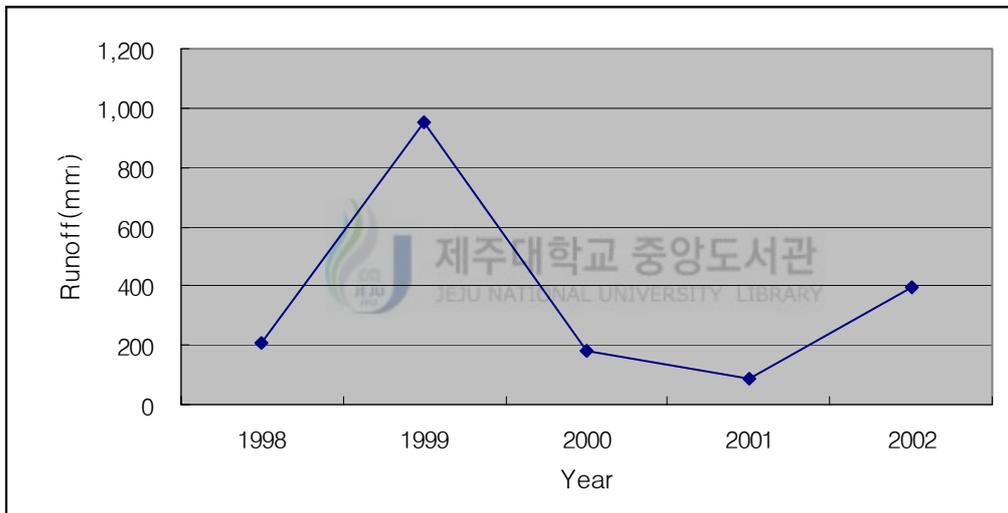


Fig. 13. Runoff curve of the year from CN of 75

3. 하천유출량 에 의한 지표유출량 재 산정

금번연구에서는 단일강우에 대하여 하천직접유출량을 측정하여 유출곡선지수를 재 산정하였다. 단일강우 151.5mm에 의해 이때 발생하는 하천의 직접유출량

은 단일강우량의 24.8mm로 유출률은 16.3% 이었다. 재 산정 결과 최적의 유출 곡선지수(CN)는 44의 값을 보였으며 이 값을 다시 SCS모델에 적용하여 연구지역의 최적의 하천유출량을 추정하였다. 이 결과 직접유출은 년 평균 120.0mm로 최근 5개년평균 강우량 1,677.8mm의 7.1%에 해당된다(Table 26, Fig. 15).

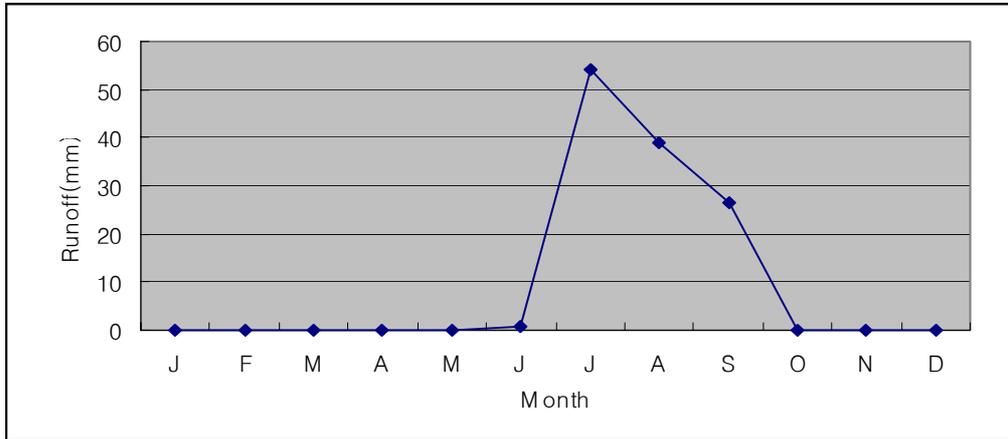


Fig. 14. Runoff curve of the month from measured CN of 44

Fig. 14 에서와 같이 1월~5월까지의 하천의 유출이 거의 일어나지 않았고 6월에서 10월까지 주로 하천유출이 일어나는 모양을 보이고 있다.

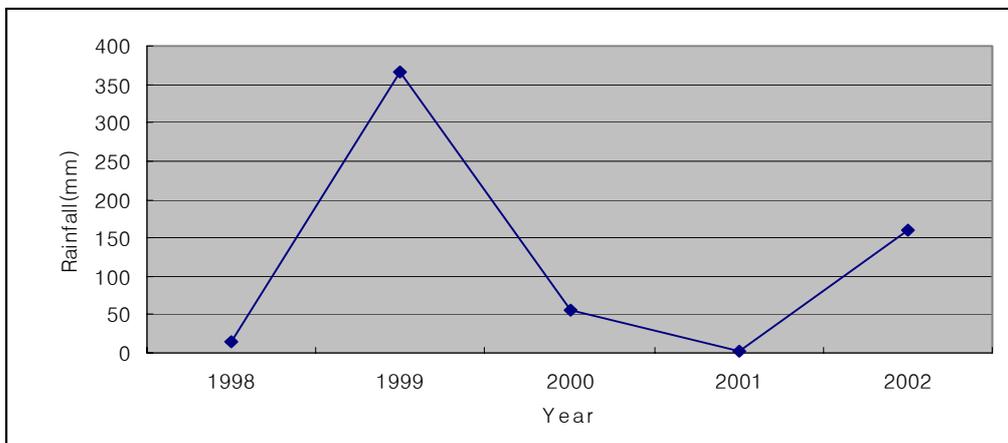


Fig. 15. Runoff curve of the year from measured CN of 44

Table 26. Runoff depth from SCS

(unit : mm)

Month	Year					
	1998	1999	2000	2001	2002	Aver.
Jan.	0	0	0	0	0	0
Feb.	0	0	0	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0
June	0	0	0	2.96	0	0.592
July	0	151.46	0	0	118.64	54.02
August	0	154.34	0	0.21	39.52	38.814
Sept.	15.68	59.85	55.88	0	1.57	26.596
Oct.	0	0	0	0	0	0
Nov.	0	0	0	0	0	0
Dec.	0	0	0	0	0	0
Total	15.68	365.65	55.88	3.17	159.73	120.02

연구지역의 물수지분석을 한 결과 유출곡선지수의 적용에 따라 지하수함양률이 Table 27과 같이 56.0%에서 41.4%까지의 차이를 보이고 있다.

Table 27. Balance analysis on the quantity of water in the study area

Total Rainfall (P, mm)	Evapotranspiration (ET,mm)	Runoff (mm)	Infiltration (mm)	Infiltration rate (%)	CN
1,677.8	617.0	120.0	940.8	56.0	44
1,677.8	617.0	364.7	696.1	41.4	75

VI. 결 론

제주도의 16개 유역분류 중에서 애월유역(85.3km²)에 속하는 소유역(9.03km²)을 선정하여 중심 하천인 고성천의 단일강우에 대한 하천유출량측정 결과로 재산정된 CN값과 토양및 토양이용특성으로 유도한 CN값의 물수지분석 결과와의 차이를 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 5개년간의 평균 강우량은 1,677.8mm이며 유출 측정에 이용한 단일강우는 25시간 연속되었으며 누계강우량 151.5mm이었다. 이 보다 선행된 강우는 5일전에 발생하였고 5시간동안 지속된 강우량누계는 44.5mm이었으나, 하천유출은 발생하지 않았다.
2. 하천유출은 최초강우가 시작된 후 5시간 50분이 지난 후에 발생하였으며 유출형태는 서서히 하천수위가 증가되는 육지부와는 매우 달랐으며, 침투 수위는 63.0cm로서 강우발생시 11시간 후에 발생되었다. 단일강우에 대한 총 유출량은 224,343m³이었으며 직접유출율은 16.3%이었다.
3. 토양과 토양이용특성에 따라 SCS방법에 의한 유출곡선지수(CN)는 75로 나타났으며, 하천직접유출측정에 의한 재산정된 유출곡선지수(CN)는 44로서 큰 차이를 보였다. 이는 전체면적 중 85.9%가 침투율이 낮고 배수가 대체로 불량한 Type C토양으로 분류된 결과이며 제주도의 일반적인 토양성질과는 매우 특이함을 보였다.

4. 년 평균 강우량 과 증발산량을 기준으로 SCS모델적용에 의한 유출곡선 지수(CN)75를 적용하면, 하천유출은 364.7mm이고, 지하수함양량은 696.1mm이었으며 년 평균 강우량의 41.4%로 분석되었다. 반면, 직접유출량의 실측에 의해 재 산정된 유출곡선지수(CN) 44를 적용하면, 지하수함양량은 기존SCS모델적용 결과에 비해 약 244mm가 많은 940.8mm로 년 평균 강우량의 56.0%를 보였다.

5. 이러한 연구결과로 향후 제주도의 지하수자원 평가는 유역면적의 크기와 설정방법, 하천별 유출특성의 분류, 토양특성의 재분류 등이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 산업기지개발공사, 1981, 제주도수자원개발 종합보고서, pp. 255~263.
- 농어촌진흥공사, 1994, 수문조사실무편람 pp. 49, pp. 73, pp. 94~95, pp.102
- 정정화외, 1995, 유출율 추정을 위한 토양 수문군의 분류, 한국농공학회지 제37권 제6호pp.15~17.
- 박창은, 1996, 우리나라 지하수개발가능량추정; 5대강유역적용, 지하수환경학회지, pp. 21~26.
- 제주도,1997,제주도 중산간 종합조사,pp.164~167.
- 유용남, 1998, 공업수문학, 청문각, pp. 144~149.
- 한국자원연구소, 1998, 제주애월도폭 지질보고서 pp.7-11.
- 농림부, 농어촌진흥공사, 1999, 성읍지역 농촌용수개발사업 기본계획
- 박재성외, 1999, 소유역의지하수함양량추정기법,지하수환경학회 Vol. 6, No. 2, pp. 76~86.
- 제주도,2000, 지하수보전·관리계획보고서, pp.20,22~26,65,173~199.
- 김인탁,현근수,2000,제주토양원색도감, 제주도민속자연사박물관, pp. 24~175.
- 문상기외, 2001, 누적강우량과 지하수위곡선을 이용한 지하수함양률추정기법, 지하수환경학회 Vol. 6, No. 1, pp. 33~43.
- 안상진, 2001, 수문학, 구미서관, pp. 126~131.
- 구민호외, 2002, 지하수수위 변동법에 의한 지하수함양량 산정의 수치해석적 분석, 지질학회지 제38권 제3호, pp. 407~420.
- 제주도, 2002, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(Ⅱ), pp. 212~242.
- 제주도,2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원종합조사(Ⅲ), pp. 111,125.
- 문덕철,2004,제주도 주요하천의 기저유출량산정에 관한 연구, pp. 1~2.
- Victor Mockus, Hydrology, 1969, pp. 4.12~4.19, pp. 8.1~8.6, pp. 9.2~9.3
- William M. Adams,F.L, 1969, A Hydrogeophysical Survey from Kawaihae to Kailua-Kona, Hawaii, pp. 5~15.
- Meyboom.P, 1961, Estimating Ground-water Recharge from Stream

- Hydrology, pp. 1203~1214.
- Howard, K.W.F and Lloyd, J.W, 1979, The sensitivity of parameters in the penman evaporation equations and direct recharge balance. Journal of hydrology, Vol. 41. pp. 329~344.
- Rushton, K.R. and Ward, C., 1979, The estimation of groundwater recharge, Journal of hydrology, Vol. 41. pp. 345~361.
- Thomas W.Giambelluca, L. Stephen Lau, Yu -Si Fok, Thomas A. Schroeder, 1984, Rainfall frequency study for Oahu, State of Hawaii, pp. 15~30.
- R.Brassington, 1988, Field Hydrogeology pp.103~106.
- Lerner, D.N, Issar, A.S, Simmers,I, 1990, Groundwater recharge, Verlag Heinz Heise, International association of hydrogeologists Vol. 8.
- Hansen, C.V. 1991, Estimates of freshwater storage and potential recharge for principal aquifers in Kansas. water-resources investigations Report 87~92.. U.S. Geological survey,
- Sophocleous,M.A, 1991, Combing the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundater recharge; practical aspects. Journal of hydrology, pp. 124, pp. 229~241.

부 록

연구지역 측정 사진





사진 1. 하천유속 및 수위측정



사진 2. 하천유속 및 수위측정



사진 3. 하천유속 및 수위측정



사진 4. 하천측량



사진 5. A지점 우량계



사진 6. B지점 우량계



사진 7. C지점 우량계



사진 8. 기상자료 취득

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 많은 격려와 지도를 아낌없이 해주신 양성기 교수님과 논문의 내용을 검토하시고 바로 잡아주신 김상진교수님, 안중기 박사님께 감사드리며 대학원 생활 동안 학업을 지도해주신 김남형교수님,남정만교수님,이병걸교수님,고호성교수님께도 감사드립니다.

또한 직장에서 학업에 충실할 수 있도록 배려해주신 농업기반공사 제주도본부 문성완 본부장님이하 모든 분들께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

늦은 대학원입학으로 어려움이 많았지만 이를 극복할 수 있도록 용기를 준 어머니의 노고에 깊은 감사드리며, 항상 든든한 마음이 되어준 사랑스런 아내와 아이들(동민,동미)에게 이 논문을 드립니다.

