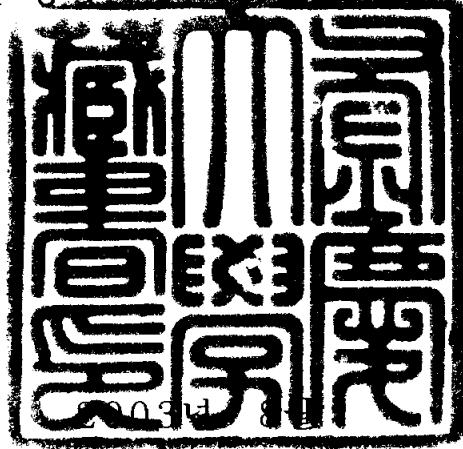


공학석사 학위논문

GIS를 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구

지도교수 김 상 용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



부경대학교 산업대학원

토목공학과

노수상

이 논문을 노수상의 공학석사
학위논문으로 인준함

2003년 6월 26일

주 심 공학박사 이 종 출



위 원 공학박사 손 인 식



위 원 공학박사 김 상 용



목 차

그림 목차	III
표 목차	IV
Abstract	V
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구대상유역 및 방법	2
1.2.1 연구대상유역	2
1.2.2 연구방법	3
제 2 장 이론적 고찰	5
2.1 지형자료의 모형화	5
2.1.1 필드(field)모형과 객체(object)모형	5
2.1.2 수치고도모형(DEM)	6
2.2 침식모형의 개요	7
제 3 장 적용대상유역의 자료분석	8
3.1 연구대상유역의 현황	8
3.2 하천 및 유역의 경사도	11
3.3 강우 및 수문조사	13
3.3.1 기상현황	13
3.3.2 기상개황	14
3.3.3 월별, 연별 강우량 분석	22
제 4 장 토사유출량 산정시 GIS 적용 및 분석	26
4.1 (R)USLE 인자 추출	26

4.1.1 강우침식지수(R)	26
4.1.2 토양침식인자(K)	28
4.1.3 경사면 및 경사인자(LS)	29
4.1.4 피복인자(C) 및 토양보존인자(P)	30
4.2 격자크기별 경사도 분석	33
4.2.1 경사도 분석 (1/1,000)	33
4.2.2 경사도 분석 (1/25,000)	35
4.3 격자크기별 경사도 분석	37
4.4 토사유출량 비교	38
제 5 장 결론	40
참고문헌	41
감사의 글	44

그림목차

그림 1.1	연구대상유역	2
그림 1.2	GIS를 이용한 연구수행 과정	4
그림 3.1	대상유역 지목별 토지이용현황	9
그림 3.2	대상유역 배수계통도	10
그림 3.3	기상개황도	14
그림 3.4	바람장미도	19
그림 3.5	월 강우량의 평균 및 표준편차	25
그림 4.1	대상유역의 (R)USLE K 인자	28
그림 4.2	대상유역의 수치표고모델	30
그림 4.3	대상유역의 (R)USLE LS 인자	32
그림 4.4	소유역 분할 (1/1,000)	34
그림 4.5	격자별 경사도(1/1,000)	34
그림 4.6	소유역 분할(1/25,000)	36
그림 4.7	격자별 경사도(1/25,000)	36
그림 4.8	축척에 따른 토사유출량의 변화	39

표 목 차

표 3.1	진주시 및 평거동의 지목별 토지이용 현황	8
표 3.2	하천 현황	11
표 3.3	기하학적 특성	12
표 3.4	표고별 누가면적	12
표 3.5	기상 관측소 현황	13
표 3.6	H, Hb, ht, ha 및 hr	13
표 3.7	월별 기상현황	15
표 3.8	연도별 기상현황	16
표 3.9	연간풍향별 평균풍속 및 빈도	18
표 3.10	월별 천기일수	20
표 3.11	연도별 천기일수	21
표 3.12	월별, 연별 강우량 분석	23
표 3.13	월별, 연별 강우량 분석 (계속)	24
표 4.1	단일호우사상에 대한 빈도별 강우에너지 계수(R)	27
표 4.2	격자크기별 경사도(%)	37
표 4.3	축척에 따른 토사유출량의 비교	38

A Study on the Estimation of Sediment Yield Using GIS

Su-Sang, Roh

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

Recently, GIS tend to be studied in water resources field. In hydrology analysis, GIS propose way that can develop subjective element of designer objectively. The development project is conducting disaster effect estimation to breed disaster, and cope these disaster beforehand provoking soil erosion and flood recently.

In this study, receive value of LS factor through DEM data at volume of soil erosion computation by disaster effect estimation and wether it are some relation effect of gradient and change of soil erosion by grid size did comparative analysis.

As a result, according as grid size great, gradient became slow and could know that error value of gradient great according as storing scale of digital topographical map grows. Also, when the grid size is 50(m)×50(m) the trend of gradient is a constant but when the grid size is over 50(m)×50(m), the trend of gradient is a dispersion.

제 1 장 서론

1.1 연구배경 및 목적

1980년대 중반부터 지리정보체계(Geographic Information System, GIS)의 개념과 그 적용성이 여러 연구분야에서 새로운 가능성으로 제시되고 있으며, 특히 최근 들어 수자원 분야에서의 활용이 활발하게 연구되고 있다. 1990년대에 들어 컴퓨터의 성능이 향상됨에 따라 GIS 소프트웨어의 기능도 향상되어 복잡한 그래픽 작업의 수행도 가능하게 되었고, 공학적인 분야와의 연계로 수문 지형인자를 추출하는데 있어서 객관적인 인자를 얻을 수 있는 새로운 연구대상이 되고 있다. GIS는 공간자료를 분석할 수 있는 유용한 도구로 이용되고 있으며, 원격탐사 및 항공사진을 통한 영상과 수치지도를 이용하여 수문 및 수질 모델링에 관련된 광범위한 분야에 적용되어지고 있다. 이러한 GIS 기법은 다양한 지형 관련자료들을 저장, 분석, 합성, 도시할 수 있는 기능을 가지고 있어서, 원래 공간자료와 관련성이 높은 수문학 분야에서 많은 적용을 하고 있다. 특히 분포형 수문모형은 특정한 유역의 공간자료들이 많이 필요하므로, GIS와 수문학은 매우 자연스러운 결합이라고 할 수 있다. 이러한 연관성은 수문모형을 설계, 검증, 수정 및 비교 등의 작업에 있어서 큰 도움을 주고 있다. 특히 최근 들어 수자원 분야에서 재해영향 평가 시 사업지구에 대한 개발로 인하여 증가하는 우수유출과 함께 토사유출이 예상되며, 이에 대한 토사의 양적 산정은 유송토사를 저장할 수 있는 침사지 설계의 핵심사항이 되고 있다. 본 연구에서는 USLE공식에서 사용되는 형태학적 특성인자 중 LS인자의 값을 DEM자료를 통하여 얻고, 격자의 크기에 따른 경사도의 영향과 토사유출량의 변화가 어떠한 관계가 있는지 분석하고, 지형인자와 빈도에 따른 확률강우량의 강우에너지 인자를 이용하여 빈도별 확률강우량에 따라 토사침식량을 산정하여 유역계획 및 관리에 기초자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구대상유역 및 방법

1.2.1 연구대상유역

본 연구대상유역은 유역면적이 1.5km²인 진주시 서측부에 위치한 평거동 일원으로서 진주시청으로부터 약 4.5km 떨어진 지점에 위치하며, 유역의 북동측은 평거 2지구, 신안지구 택지개발사업이 완료되어 대규모 신 주거지로 형성되어 있다. 대상유역의 남측은 남강(국가하천)이 남서측에서 북동측으로 흐르고 있고, 본 유역과 인접한 상류측 2.75km 지점에 남강 다목적댐이 위치하고 있다. 상류지역은 산지형태의 유역이고 하류지역은 주로 평야지대의 유역으로 크게 나누어진다. 본 연구에서는 크게 유역을 3개의 소유역으로 나누고 또 각각의 소유역에 따라 또 다른 구역으로 나누어 경사도에 따른 분석을 시행하였다.

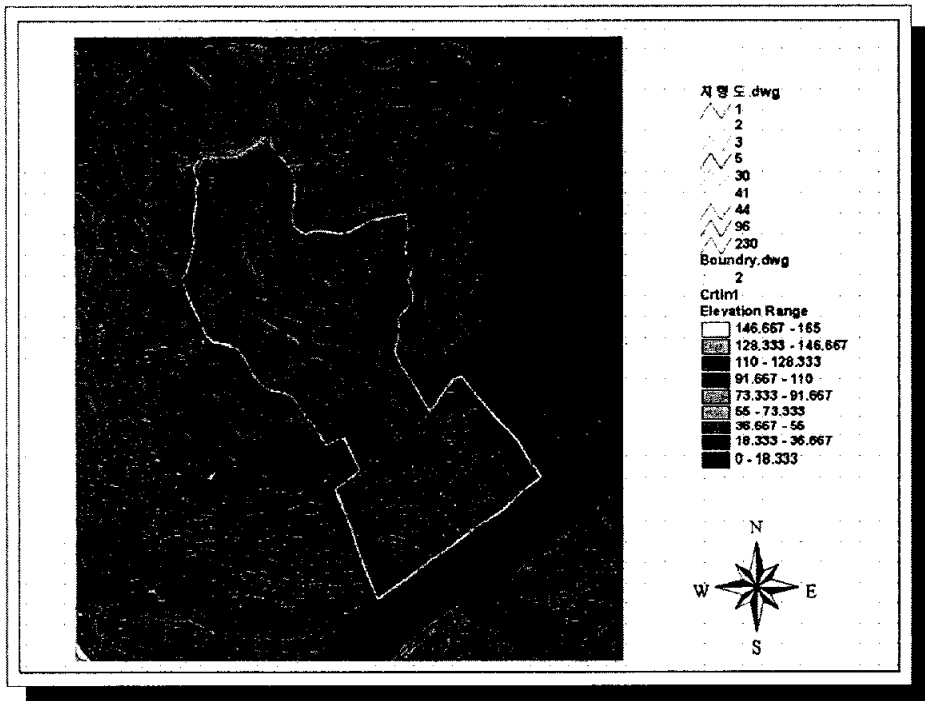


그림 1.1 연구대상유역

1.2.2 연구방법

본 연구는 수문지형분석을 하는데 있어서 격자크기의 영향을 비교 검토하고 실측값에 가장 근사 값을 산정하기 위하여 DEM 생성 시에 격자 크기를 결정하고자 한다. 격자 크기가 증가함에 따라 평균고도 값이 낮아져 경사가 둔화된다는 것은 이미 밝혀진 바 있다. 그러나 대상유역에 따라 격자크기를 어떻게 결정할 것인지는 아직 확실하게 규명되어 있지 않다. 그래서 본 연구에서는 수치지형도의 축척이 격자크기에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하고 나아가서는 대상유역면적과 축척이 격자크기에 어떤 영향을 미치는지를 제시하고자 하며 빈도별 확률강우량에 따른 토사침식량과의 관계를 알아보하고자 한다. 연구대상유역을 축척 1/1,000, 1/25,000 수치지형도를 대상으로 ArcView Hydro모듈을 이용하여 각각 격자크기별로 DEM을 구축하였다. 격자는 10m×10m부터 100m×100m까지 크기를 증가시키면서 DEM을 구축하였다. 그러나 1/1,000 수치지형도에서는 격자크기가 60m×60m 이상에서는 DEM에 의한 유역 분할면적 값을 산정할 수 없었기 때문에 본 연구에서는 격자크기를 10m×10m에서 50m×50m까지 구분하여 1/1,000, 1/25,000의 수치지형도 상에서 DEM을 생성하였다. 생성된 DEM 자료를 통하여 경사에 의한 유역분할을 수행하고, 분할된 소유역에 대한 지형인자를 추출하였다. 추출된 지형인자를 통하여 (R)USLE 모형에 적용하여 산정된 값을 GIS를 이용하지 않고 수작업에 의해서 산정된 값과 비교하여 격자크기를 채택하였다. 이렇게 채택된 값을 통하여 축척별로 (R)USLE 모형을 적용하여 토사유출량을 산정하여 비교검토하였으며, 또한 빈도별 확률강우량과 토사침식량과의 관계식을 도출하였다.(그림 1.2)

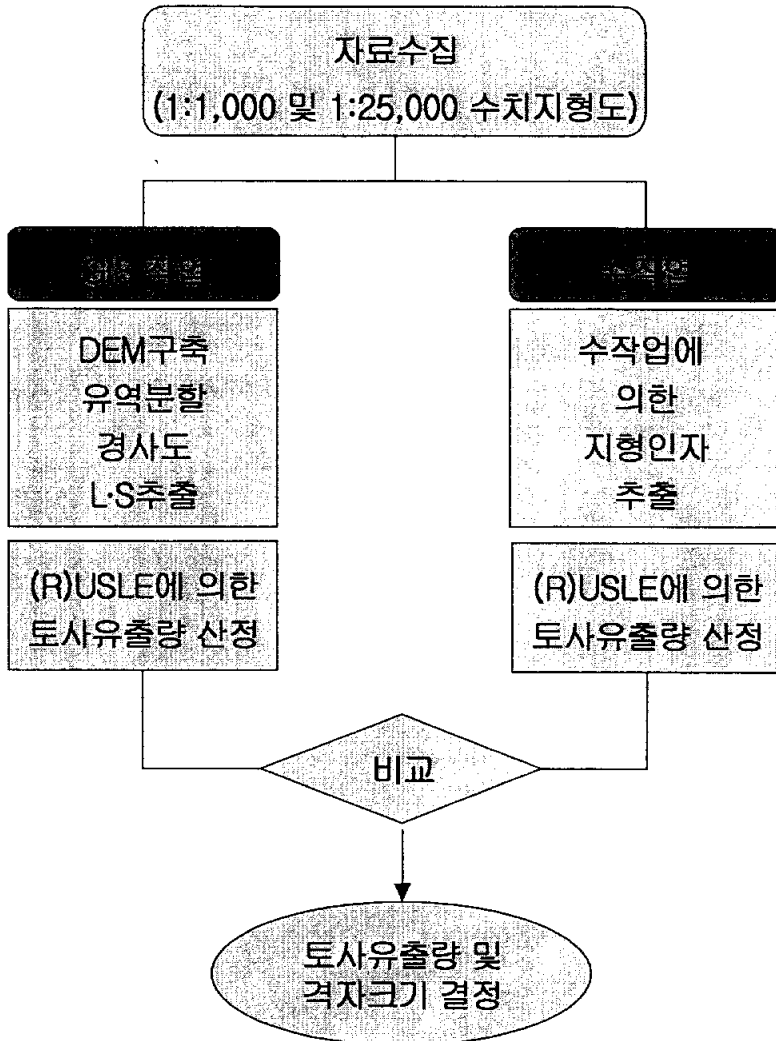


그림 1.2 GIS를 이용한 연구수행 과정

제 2 장 이론적 고찰

2.1 지형자료의 모형화

유한한 전산 데이터베이스는 이산(離散) 특성을 가지는 저장장치이지만 실제 지리자료는 매우 많은 인자를 포함하고 있는 복잡한 형태를 가지고 있다. 이러한 복잡한 자료를 이산화과정을 통하여 유한한 수의 데이터베이스 자료로 전환하여야 한다. 지리자료 modeling에 있어서 객체는 점, 선, 면적의 속성들이 있다. 여기서 점 객체의 경우는 강우관측소 등의 자료이며, 이들 강우관측소에서 관측된 강우량들의 자료들은 속성자료로 표시할 수 있다.

2.1.1 필드(field)모형과 객체(object)모형

GIS기술에서의 지리자료 모형은 주로 필드(field)모형과 객체(object) 모형의 두 가지 형태의 모형들이 사용된다. 필드모형은 이산화 된 객체의 집합인 단일변수의 공간변화를 나타내며, GIS에서 사용되는 모형들은 불규칙한 점의 표본추출, 규칙적인 점의 표본추출, 등고자료, 다각형자료, 격자자료, 삼각형망 자료 등으로 6개의 모형들이 있다. 객체 모형은 객체를 점, 선, 면적으로 나타내며 대개 배수관이나 고속도로 등과 같은 시설을 나타내는데 사용된다. 현재 수문 자료 구축은 대부분 필드 관점과 공간적으로 연속적 변수들에 의해 이루어지지만 객체 관점도 지형 분포를 이해하고 분석하는데 중요한 요소이다.

2.1.2 수치고도모형

수공학 분야에서 대상지역의 지형을 표현하는 것은 GIS의 적용의 가장 중요한 수행능력 중의 하나이다. 수치고도모형(Digital Elevation Model, DEM)은 컴퓨터를 이용하여 지형을 표현하는 대표적인 기법이라 할 수 있다. 그러나 지형자료는 많은 인자들이 존재하므로 고도자료만을 가지고 모든 공간정보를 기술할 수가 없으므로 경우에 따라서는 위성자료와의 결합을 필요로 한다. 수문학에서 위상관계는 하천 수로망을 나타내는 선들의 집합과 유역을 나타내는 다각형들의 집합 등으로 구분할 수 있다. GIS에서는 선과 면적 등의 지형자료만을 이용한 것도 있으나, 지형학적 자료와 연결된 위성자료를 이용하여 GIS의 적용범위를 확대할 수 있는 장점을 가지기도 한다.

최근 DEM 자료를 수문학에 이용함에 있어 지형의 표현과 수문학적 과정의 모의에서 편리성을 제공하고 있다. 그러나 DEM 자료에서는 서로 다른 격자 크기가 유역면적이나 유출생성 등의 수문학적 모의에서 상이한 결과를 초래할 수 있으므로(Bruneau 등, 1995) 격자의 크기는 수문모형의 수행에 있어서 중요한 요소가 된다. 지형 고도의 공간적 분포를 표현할 수 있는 DEM 자료는 유역의 수문학적 과정을 모의하는데 사용되어지고 있으며, 많은 수문모형의 매개변수들을 추출할 수도 있다. 그리고 지형의 공간적 분산도는 수문모형의 모의에 많은 영향을 미치며, 수문모형에 고도자료를 적용할 때는 지표면을 표현하기 위해 격자기반자료, 불규칙삼각망자료, 등고기반자료 등의 세 가지 방법 중 어떤 방법이 사용되는지 고려하는 것도 중요하다.

2.2 침식모형의 개요

외국의 경우 토사유출량을 예측하는 방법의 개발은 이미 1940년대에 시작되었고, USLE는 농경지에서의 연평균 토사유출량 예측을 위해 1954년 미국 토양보존국에서 개발되었으며 다음의 식(2.1)과 같이 표현된다. 그러나 USLE공식이 개발목적과 달리 건설현장으로 확대·적용되자 Clyde(1980) 등은 도로공사 시 토사유출량을 예측하는데 적용하기 위해 경작인자(C)와 토양보존 대책인자(P)를 합쳐 토양침식 조정인자를 적용하여 1980년 미국의 연방도로청에 의해 고속도로 건설시의 토사유출량 추정 에 응용할 수 있도록 식을 변형시키기도 하였다.

USLE에 최신자료를 추가, 분석하여 개선한 산정기법이 (R)USLE(USDA, 1997)이며, 그 범용성은 USLE에 비하여 우수하다. 그러나 토양의 피복상태(C)나 토양보존대책인자(P) 등의 산정을 위해 USLE 산정 시 요구되는 자료보다 훨씬 더 세밀한 각종 현장자료를 요구한다는 단점이 있다. 이러한 (R)USLE의 공식은 USLE와 동일한 형태로 나타낼 수 있다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2.1)$$

제 3 장 적용대상유역의 자료분석

3.1 연구대상유역의 현황

연구대상지역은 진주시 서측부에 위치한 평거동 일원으로서 진주시청으로부터 약 4.5km 떨어진 지점에 위치하고, 대상유역 북동 측은 평거 2지구, 신안지구 택지개발사업이 완료되어 대규모 신 주거지로 형성되어 있다. 대상유역 남측은 남강(국가하천)이 북동 측으로 흐르고 있고, 대상유역과 인접한 상류 측 2.75km 지점에 남강 다목적 댐이 위치하고 있다. 대상유역 및 주변지역 도로현황을 살펴보면 남서 측 구역 계를 따라 광로 3-1호선(B=40m)이 계획(현재 B=8.0m, 2차선) 중이고, 북측으로는 대 3-9호선이 폭 25m, 4차선으로 확장사업중이며, 동 측으로는 대 1-1호선(B=35m, 8차로)이 개설되어 있다. 연구대상 구역 내 토지이용상태는 현재 대부분이 묘목장으로 이용되고 있으며, 잔여부지는 휴경지와 일부주택 등이 산재해 있다. 또한 진주시 및 평거동의 지목별 토지이용현황은 표 3.1과 같다.

표 3.1 진주시 및 평거동의 지목별 토지이용 현황

구 분		계	전·답	임야	잡종지	대지	공장용지	도로	하천	구거	기타
진주시	면적(km ²)	712.85	156.27	434.05	2.51	15.58	1.98	20.25	26.69	17.85	34.67
	구성비(%)	100.00	21.92	60.89	0.35	2.61	0.28	2.84	3.74	2.50	4.87
평거동	면적(km ²)	3.94	1.23	0.90	0.02	0.54	-	0.43	0.57	0.04	0.21
	구성비(%)	100.00	3.22	22.84	0.51	13.71	-	10.91	14.47	1.02	5.32

자료 : 진주 통계연보 (2000, 진주시)

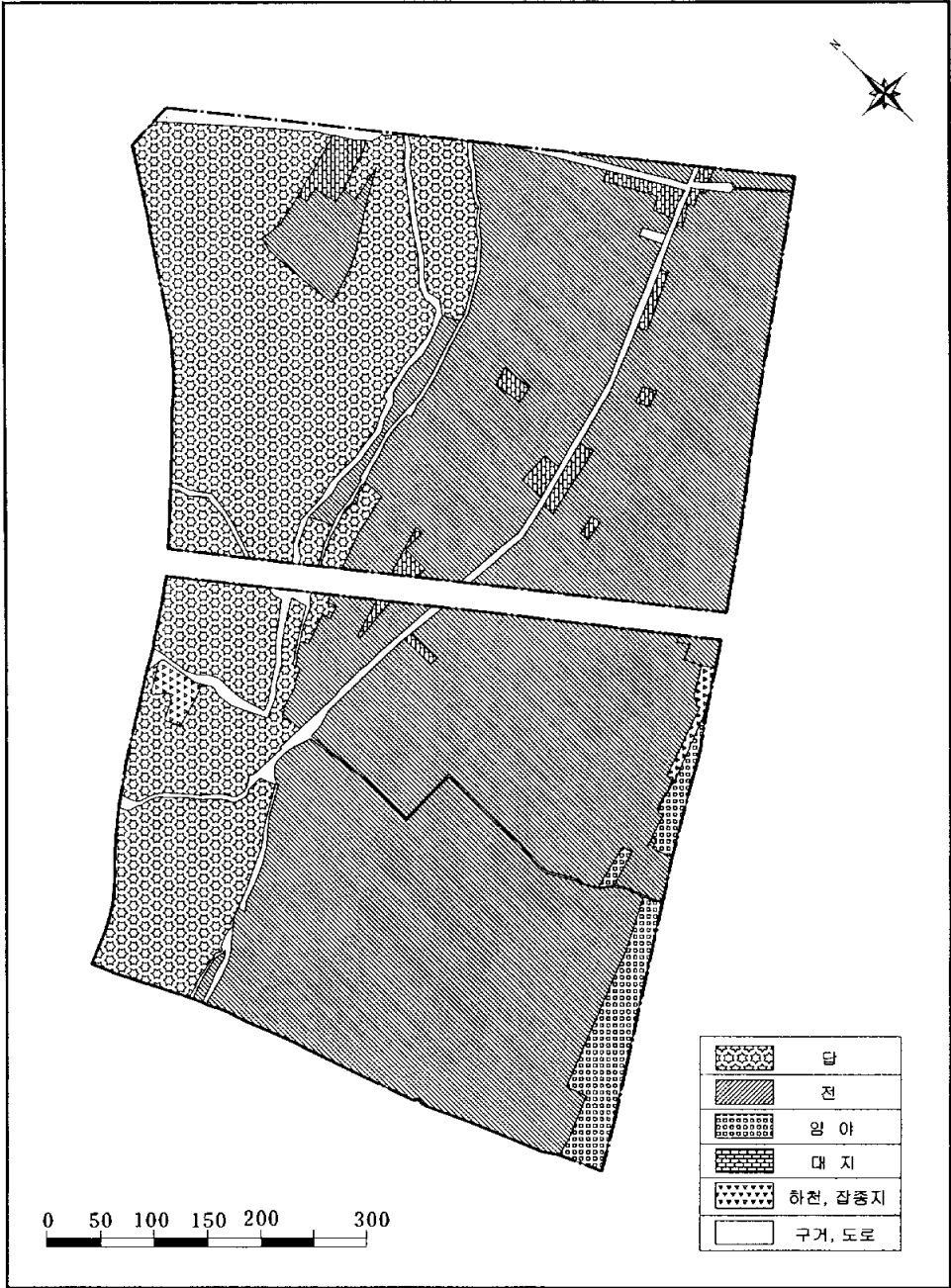


그림 3.1 대상유역 지목별 토지이용현황

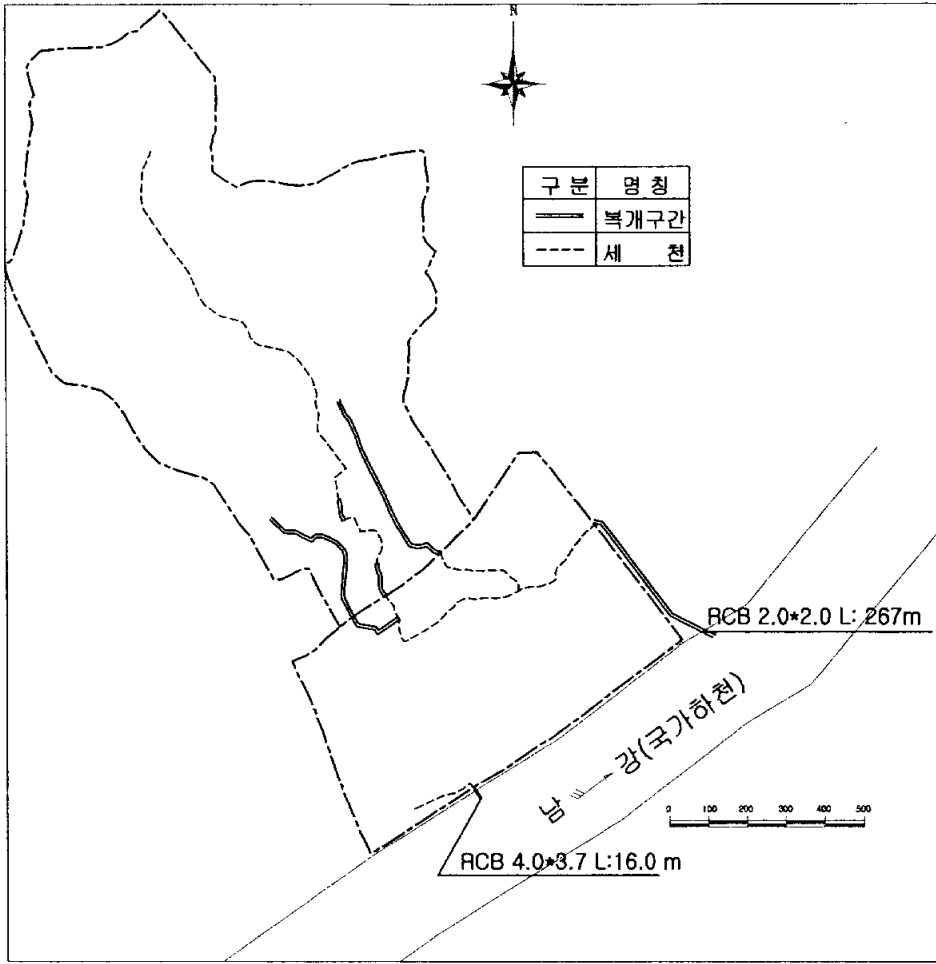


그림 3.2 대상유역 배수계통도

3.2. 하천 및 유역의 경사도

낙동강의 제 1지류인 남강은 동경 127° 30′ -128° 28′ 의 구간 및 북위 35° 00′ -35° 46′ 구간의 서부경남에 위치하며, 북쪽으로는 황강유역, 서쪽으로는 섬진강유역, 남쪽으로는 남해안으로 유입되는 소규모 하천유역들과 접하고 있다. 남강은 수원인 경남 함양군 서상면의 덕유산 (EL.1,594 m)에서 발원하여 남류하다가 함양군 함양읍 지점에서 위천과 합류하며, 산청군 신암면 지점에서 양천과 합류한 후 계속 남류하여 덕천강과 합류한 후 남강댐으로 유입한다. 남강댐 지점 하류에서는 경남 진주시를 관류하며 사행을 반복하면서 78.8 km를 북동류한 후 경남 의령군 지정면 성산리 지점에서 낙동강 본류와 합류하게 되는데 하구에 이르기까지 판문천, 나불천, 영천강, 대곡천, 의령천, 함안천 등의 주요 지류와 합류하고, 판문천과 나불천 수계 사이에 평골, 지룽골 세천이 대상유역 중심으로 관류하여 남강으로 유입되고 있으며, 하천현황 및 기하학적 특성은 표 3.2와 표 3.3과 같다.

표 3.2 하천 현황

분 류	제 1지류	제 2지류	등 급	하천연장 (km)	유로연장 (km)	유역면적 (km ²)
낙동강			국 가	400.70	521.50	23,817.30
	남 강		국 가	145.40	185.80	3,466.10
		판문천	지방 2	5.20	7.10	8.3
		나불천	지방 2	15.70	16.60	60.2

주) 한국 하천일람 (2000, 건설교통부)

표 3.3 기하학적 특성

하 천 명	유역평균폭 (km) A/L	유역형상계수 A/L ²	하상평균구배	비 고
남 강	20.9	0.185	1/3,000	나불천 합류후
관 문 천	1.2	0.165	1/250	
나 불 천	3.6	0.218	1/350	

연구대상유역을 포함한 최소유역의 경사도는 표 3.4와 같고, 연구대상유역내의 경사분석은 표고는 EL.26m~EL.30m이고, 지형은 남저북고 형이며, 경사는 1% 내외로 평탄지로 형성되어 있다.

표 3.4 표고별 누가면적

>EL.30 m		>EL.40 m		>EL.50 m		>EL.100 m		>EL.150 m		>EL.170 m	
면적 (km ²)	구성비 (%)	면적 (km ²)	구성비 (%)	면적 (km ²)	구성비 (%)	면적 (km ²)	구성비 (%)	면적 (km ²)	구성비 (%)	면적 (km ²)	구성비 (%)
1.50	100.0	1.05	70	0.82	54.5	0.68	45.1	0.13	8.6	0.02	1.1

3.3 강우 및 수문조사

3.3.1 기상현황

진주시는 우리나라의 일반적인 기후특성에 따라 사계절이 뚜렷한 온대성 기후를 나타내고 있고, 여름에는 해양성 고기압권내에 들어가 고온 다습하며 겨울에는 대륙성 기후의 영향을 받아 한랭건조하나 한반도의 남부에 위치하고 있기 때문에 겨울에도 비교적 온화한 편이다. 따라서 지형적인 특이 기후인 계절풍과 남해의 해양성 기후가 복합적으로 작용하는 지역이다. 자연을 개발하는 경우 주변지역의 기후는 필연적으로 변화하게 되며 이에 따라 주변의 생태계 및 인간 생활에도 영향을 초래하게 되기 때문에 인접 측후소의 최근 10년간 기상자료를 이용하여 기상요소별 기후특성을 고찰하였다. 관측소의 현황은 다음에 나타낸 바와 같다.

표 3.5 기상 관측소 현황

지명	북위	동경	H(m)	Hb(m)	ht(m)	ha(m)	hr(m)
진주	35° 12'	128° 06'	21.3	22.6	1.5	10.0	0.6

자료) 기상연보, 관측소 일람표, 기상청

여기서 H, Hb, ht, ha 및 hr은 표 3.6과 같다.

표 3.6 H, Hb, ht, ha 및 hr

H	노장의 해발높이(Height of observation field above mean sea level)
Hb	수은 기압계의 해발높이 (Height of mercurial barometer above mean sea level)
ht	온도계의 지상높이 (Height of thermometer above the ground)
ha	풍속계의 지상높이 (Height of anemometer above the ground)
hr	우량계의 지상높이(Height of rain gauge above the ground)

3.3.2 기상개황

진주기상대의 최근 10년간 (1991~2000)의 기상자료를 분석한 결과는 그림 3.3, 표 3.7 및 표 3.8과 같다.

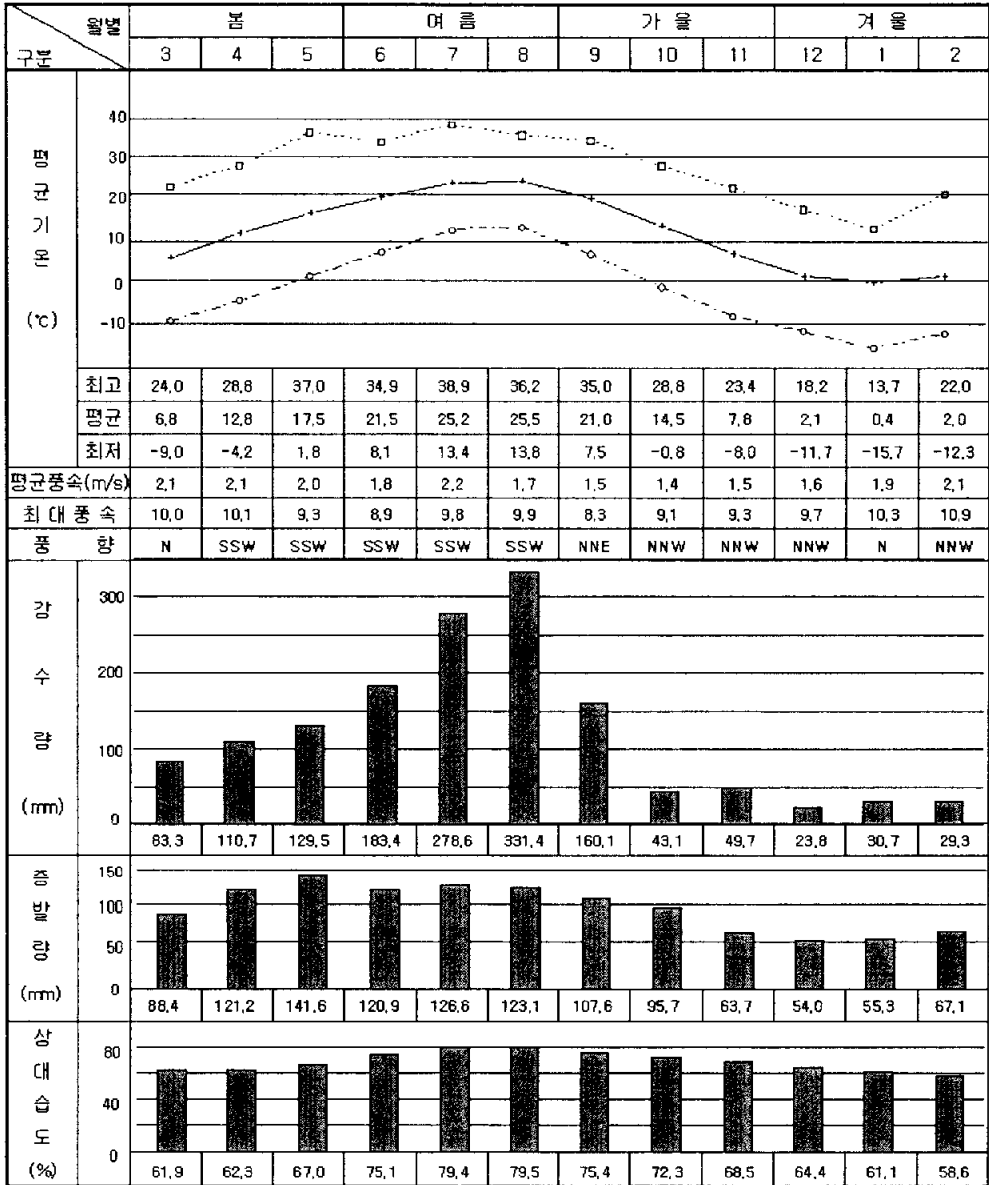


그림 3.3 기상개황도

표 3.7 월별 기상현황

구 분	기 온 (°C)			강수량 (mm)	증발량 (mm)	일조시간 (hr)	상대습도 (%)	풍 향	풍 속 (m/s)
	평 균	극최고	극최저						
1월	0.4	13.7	-15.7	30.7	55.3	181.3	61.1	N	1.9
2월	2.0	22.0	-12.3	29.3	67.1	189.6	58.6	NNW	2.1
3월	6.8	24.0	-9.0	83.3	88.4	184.6	61.9	N	2.1
4월	12.8	28.8	-4.2	110.7	121.2	206.2	62.3	SSW	2.1
5월	17.5	37.0	1.8	129.5	141.6	218.6	67.0	SSW	2.0
6월	21.5	34.9	8.1	183.4	120.9	154.2	75.1	SSW	1.8
7월	25.2	38.9	13.4	278.6	126.6	159.1	79.4	SSW	2.2
8월	25.5	36.2	13.8	331.4	123.1	171.7	79.5	SSW	1.7
9월	21.0	35.0	7.5	160.1	107.6	172.1	75.4	NNE	1.5
10월	14.5	28.8	-0.8	43.1	95.7	193.6	72.3	NNW	1.4
11월	7.8	23.4	-8.0	49.7	63.7	183.9	68.5	NNW	1.5
12월	2.1	18.2	-11.7	23.8	54.0	188.9	64.4	NNW	1.6
평 균	13.1	38.9	-15.7	121.1	97.1	183.7	68.8	N	1.8

주) 1. 자료 : 기상연보 (1991~2000, 기상청)

2. 극최고, 극최저 기온 값은 최고와 최저를 나타낸 값임

표 3.8 연도별 기상현황

구 분	기 온 (°C)			강수량 (mm)	증발량 (mm)	일조시간 (hr)	상대습도 (%)	풍 향	풍 속 (m/s)
	평 균	극최고	극최저						
1991년	12.8	33.0	-12.3	1,920.9	1,092.4	2,046.5	72.7	NNW	1.7
1992년	13.1	34.4	-9.4	1,173.4	1,189.3	2,107.3	71.7	SSW	1.9
1993년	12.4	32.1	-11.4	1,595.4	1,110.0	1,930.4	70.3	N	1.9
1994년	13.7	38.9	-14.1	784.9	1,405.9	2,457.8	66.9	NNW	1.9
1995년	12.5	36.2	-11.7	975.0	1,223.7	2,377.8	64.3	NNW	2.0
1996년	12.6	35.5	-12.3	1,122.8	1,205.8	2,231.8	68.3	S	1.9
1997년	13.4	35.5	-15.7	1,444.8	1,182.6	2,264.7	67.1	NNW	1.9
1998년	14.2	34.2	-11.0	1,922.6	1,082.3	2,065.8	71.6	NW	1.8
1999년	13.3	33.7	-11.8	2,054.0	1,065.9	2,192.4	69.6	NNW	1.6
2000년	13.4	37.0	-10.8	1,546.9	1,100.0	2,267.8	65.5	NNE	1.7
평 균	13.1	38.9	-15.7	1,454.1	1,165.8	2,194.2	68.8	N	1.8

주) 1. 극최고, 극최저 기온 값은 최고와 최저를 나타낸 값임

진주기상대의 최근 10년간 (1991~2000) 자료를 분석하여 기온을 조사한 결과 연평균기온은 13.1℃이고, 극 최고기온은 38.9℃이며, 극 최저기온은 -15.7℃로 나타났다. 또한, 평균기온의 월별분포를 보면 1월이 0.4℃로 가장 낮고, 8월이 25.5℃로서 가장 높은 기온을 나타내었으며, 연간 한서차가 25.1℃의 차이를 보인다.

연간평균강수량은 1,454.1 mm로 1999년에 2,054.0 mm로 최대와 1994년에 784.9 mm로 최소를 기록하였으며, 10년간의 월별분포를 보면 여름장마기간에 속하는 8월에 331.4 mm로 최대를 기록하였고, 12월에 23.8 mm로 최소를 기록하였다. 계절별로는 여름(6, 7, 8월)이 전체 강수량의 50%이상을 차지하였다.

진주지역의 연간평균증발량은 1,165.8 mm이며, 월별분포를 보면 5월에 141.6 mm로 최대를, 12월에 54.0 mm로서 최소를 기록하였다. 진주기상대의 월 평균일조시간은 183.7 hr이며, 월별로는 5월이 218.6 hr로 가장 높게 나타났고, 6월에 154.2 hr로 가장 낮게 나타났다. 연도별 기상개황을 보면 연평균일조시간은 2,194.2 hr로 조사되었는데, 그중 1994년에 기록된 일조시간이 2,457.8 hr로 가장 길었고, 1993년이 1,930.4 hr로 가장 짧은 일조시간을 기록하였다. 진주기상대의 10년 월 평균상대습도는 68.8%로 조사되었으며, 8월이 빈번한 강우에 의해 79.5%로 가장 높게 나타났고, 건조기인 2월에 58.6%로 낮게 나타났다.

기상연보 (1991~2000)를 이용하여 풍향 및 풍속을 조사한 결과 표 3.9 및 그림 3.4의 계절별 바람장미도에서 나타난 것과 같이 풍향빈도는 북(N)풍이 16.9%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 북북서(NNW) 16.1%, 남남서(SSW) 15.1%의 순이며, 서남서(WSW)풍이 2.5%로 가장 낮게 나타났다. 한편, 평균최대풍속은 북북서(NNW)풍이 11.6 m/s로 조사되었다.

표 3.9 연간풍향별 평균풍속 및 빈도

풍향	봄		여름		가을		겨울		전년	
	최대 풍속 (m/s)	백분율 (%)	최대 풍속 (m/s)	백분율 (%)	최대 풍속 (m/s)	백분율 (%)	최대 풍속 (m/s)	백분율 (%)	최대 풍속 (m/s)	백분율 (%)
NNE	9.8	13.7	9.1	12.8	10.3	17.8	10.2	18.1	9.9	15.0
NE	8.4	10.6	8.4	10.7	8.6	14.4	8.2	12.9	8.4	12.0
ENE	6.3	5.0	6.6	4.9	5.9	6.7	5.4	5.5	6.0	5.5
E	5.5	3.2	5.7	3.9	5.2	4.2	4.6	3.4	5.3	3.7
ESE	5.1	2.4	4.9	3.0	4.1	2.6	3.6	2.1	4.4	2.6
SE	6.9	5.0	6.3	5.6	4.5	3.3	3.7	2.9	5.3	4.3
SSE	8.5	7.9	8.1	10.9	5.2	3.5	4.7	3.9	6.6	6.8
S	11.9	15.9	11.9	20.3	7.7	6.5	7.3	7.5	9.7	13.0
SSW	12.8	17.5	12.8	25.4	8.9	7.6	9.0	7.0	10.9	15.1
SW	9.2	8.1	8.5	9.8	7.1	4.1	6.6	3.9	7.8	6.8
WSW	5.1	2.8	4.4	2.9	4.4	2.1	4.9	2.0	4.7	2.5
W	5.4	3.3	3.0	4.1	4.0	2.5	4.7	2.2	4.3	3.1
WNW	5.9	6.8	3.1	5.0	4.0	5.4	6.4	4.1	4.8	5.4
NW	9.5	15.7	4.9	7.4	7.3	16.1	10.5	15.2	8.1	13.5
NNW	12.7	15.6	7.6	7.9	11.5	19.0	14.6	24.8	11.6	16.1
N	12.3	16.0	8.1	12.7	10.3	18.4	12.7	23.2	10.8	16.9

자료 : 기상연보 (1991~2000, 기상청)

진주지방의 최근 10년간 천기일수를 표 3.9 및 표 3.10에 나타냈으며, 평균 연간 천기일수는 강수 94.2일, 눈 5.2일, 안개 91.8일, 서리 92.0일, 결빙 112.5일, 황사 5.5일, 뇌전 15.5일 등으로 나타났고, 날씨는 맑음 102.0일, 흐림 108.1일로 나타났다.

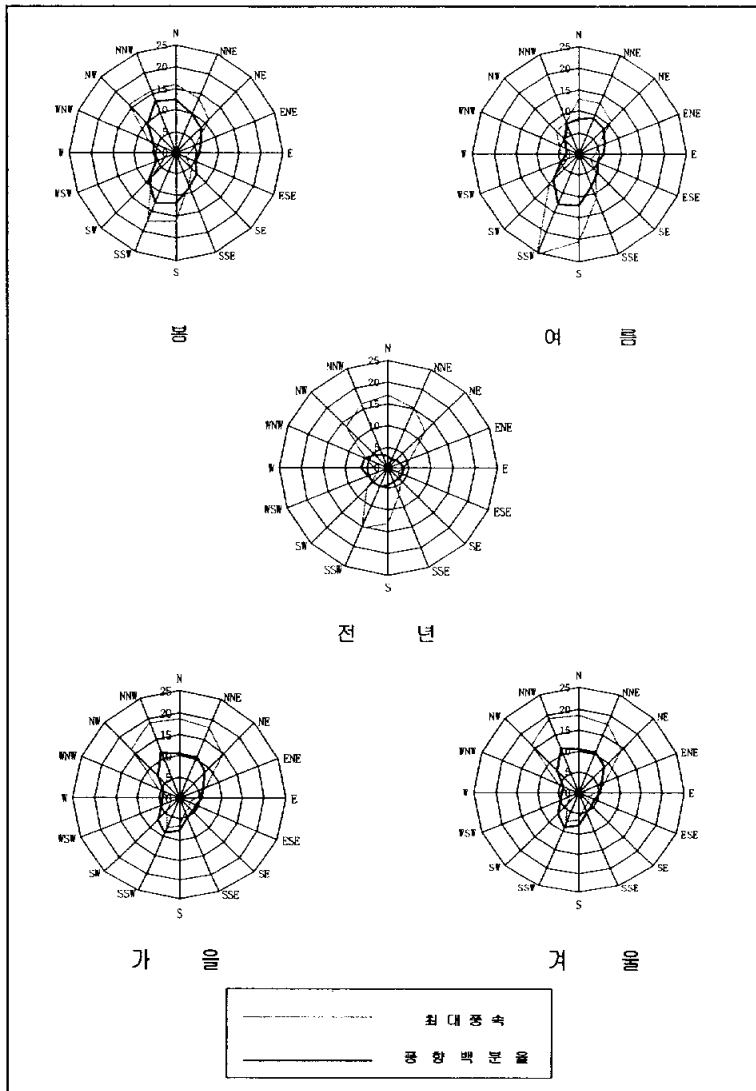


그림 3.4 바람장미도

표 3.10 월별 천기일수

(단위:일)

구분	강수	눈	안개	서리	결빙	황사	뇌전	맑음	흐림
1월	4.7	1.9	1.6	20.0	28.5	0.4	0	15.0	5.1
2월	4.3	1.7	1.8	16.1	24.9	0	0.1	13.0	3.9
3월	7.7	0.4	6.1	12.4	15.2	1.4	0.4	8.3	9.7
4월	8.4	0	6.9	2.9	3.3	2.5	1.3	9.0	8.5
5월	9.3	0	9.5	0	0	1.2	1.9	8.0	9.4
6월	11.3	0	10.9	0	0	0	1.5	3.0	16
7월	12.7	0	6.1	0	0	0	4	2.3	16.1
8월	13.5	0	7.9	0	0	0	4.7	3.0	13.3
9월	8.2	0	11.1	0	0	0	1	6.0	10.2
10월	4.8	0	14.5	1.6	0.7	0	0.1	8.0	6.9
11월	5.7	0.3	11.1	14.3	12.1	0	0.5	11.4	5.4
12월	3.6	0.9	4.3	24.7	27.8	0	0	15.0	3.6
전년	94.2	5.2	91.8	92.0	112.5	5.5	15.5	102.0	108.1

자료 : 기상연보 (1991~2000, 기상청)

표 3.11 연도별 천기일수

(단위:일)

구분	강수	눈	안개	서리	결빙	황사	뇌전	맑음	흐림
2000년	96	2	72	85	118	9	17	111	94
1999년	98	3	103	99	109	5	11	110	110
1998년	113	5	83	94	101	9	20	94	133
1997년	83	3	102	82	104	1	26	104	89
1996년	87	9	89	96	127	2	9	92	95
1995년	84	6	96	115	125	7	18	122	92
1994년	73	9	93	85	111	1	8	127	85
1993년	102	5	93	84	114	16	17	76	140
1992년	102	4	97	93	106	0	13	91	118
1991년	104	6	90	87	110	5	16	93	125
평균	94.2	5.2	91.8	92.0	112.5	5.5	15.5	102.0	108.1

자료 : 기상연보 (1991~2000, 기상청)

3.3.3 월별, 연별 강수량 분석

연구대상구역의 월별, 연별 강수량을 분석하기 위하여 대상구역에 가장 인접한 기상청 산하 진주기상관측소의 관측된 월별, 연별 총 강수량을 표 3.12 및 표 3.13과 같이 조사하였다.

우리나라의 기후 구분으로는 아시아 몬순지대에 속하며, 연평균강수량(1959년~1988년)은 1,274 mm 비해, 인근 관측지점인 진주기상관측소에서 관측된 1957년~2000년까지의 연평균강수량은 1,463.1 mm로서 우리나라 연평균강수량의 약 1.15배임을 알 수 있다. 또한 기왕 최대 관측자료를 살펴보면 1989년의 2,193 mm로 전국의 평균강수량에 비해 172%에 달하는 강우가 발생한 경험을 가지고 있으며, 월별강수량의 분포를 보면 호우기인 6~9월 사이에 연 강수량의 63.6%가 집중되고 있다.

표 3.12 월별, 연별 강우량 분석

연도 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
1957	-	-	-	-	91.5	187.6	324.0	384.3	0.3	-	-	-	987.7
1958	-	-	-	-	42.1	170.5	201.0	372.7	182.9	156.8	46.5	39.8	1,212.3
1959	19.8	115.5	60.2	251.3	99.0	84.8	112.3	211.6	344.4	8.5	37.1	48.8	1,393.3
1960	16.3	21.0	100.0	82.9	176.2	111.5	152.9	52.9	431.8	35.1	59.4	18.5	1,258.5
1961	24.9	61.0	153.5	163.4	298.1	121.8	281.9	347.1	160.9	134.0	-	28.2	1,774.8
1962	0.8	25.8	17.2	165.3	50.1	144.5	270.6	276.6	307.8	61.4	30.5	14.5	1,365.1
1963	0.8	5.9	61.8	227.1	208.6	796.6	236.9	138.2	33.2	43.7	8.7	14.3	1,775.8
1964	37.3	87.1	76.5	226.0	64.8	158.1	107.9	30.3	181.1	10.2	3.1	0.0	982.4
1965	44.3	31.6	20.4	103.3	116.6	46.1	487.4	231.3	19.8	41.5	121.1	44.9	1,308.3
1966	12.8	58.8	198.9	132.7	149.0	77.9	160.9	319.1	36.7	70.4	58.7	11.2	1,287.1
1967	26.9	47.1	90.1	180.1	51.9	195.1	160.9	76.0	127.0	18.5	105.3	0.0	1,078.9
1968	4.9	3.2	64.6	39.7	100.6	52.5	124.8	369.1	52.4	136.9	13.3	0.0	962.0
1969	77.2	68.5	23.9	256.3	124.0	140.1	376.2	335.8	463.2	4.9	26.1	47.8	1,944.0
1970	2.3	48.3	20.8	152.8	164.7	165.2	424.8	428.4	265.5	53.3	18.3	23.6	1,768.0
1971	37.7	47.1	63.6	58.6	102.5	292.5	116.9	363.7	74.9	7.7	3.1	3.7	1,172.0
1972	92.4	25.4	218.9	119.7	181.7	88.1	482.7	267.0	93.5	41.4	155.5	35.2	1,801.5
1973	78.6	45.4	9.2	123.7	351.0	45.3	89.8	50.0	232.4	91.7	35.2	2.9	1,155.2
1974	34.6	49.7	47.7	255.7	273.6	197.5	517.9	75.2	17.4	117.9	14.6	49.0	1,650.8
1975	25.2	22.6	74.5	252.2	200.7	185.0	473.9	57.3	188.4	104.4	77.0	42.5	1,703.7
1976	0.2	159.6	69.2	176.5	66.6	217.3	102.9	186.6	27.7	44.5	44.2	25.4	1,120.7
1977	0.0	0.0	92.1	198.9	140.3	148.9	104.3	110.9	82.5	20.2	102.3	23.0	1,023.4
1978	13.3	43.4	43.5	36.6	7.9	432.6	176.7	213.0	54.5	96.8	45.9	18.9	1,182.8
1979	25.3	85.3	61.7	161.6	176.0	390.3	323.5	461.5	139.4	3.5	0.0	0.0	1,828.1

표 3.13 월별, 연별 강우량 분석(계속)

월 년도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
1980	34.1	19.1	68.0	271.2	140.2	176.6	413.4	563.6	91.4	132.4	46.9	12.1	1,969.0
1981	23.4	43.9	26.5	69.9	55.8	279.1	246.5	211.4	427.0	42.6	22.0	7.1	1,455.2
1982	10.4	30.4	79.1	120.8	83.9	34.4	250.6	354.0	28.2	25.7	116.2	9.7	1,143.4
1983	21.5	44.3	79.8	236.0	59.1	71.7	340.5	275.5	308.7	74.7	5.4	1.2	1,518.4
1984	0.0	4.7	9.3	145.2	44.3	183.2	484.8	270.6	250.5	25.6	41.0	8.6	1,467.8
1985	0.0	4.7	120.7	117.6	220.6	434.2	184.5	495.7	231.3	175.6	54.7	0.0	2,042.6
1986	1.4	11.1	58.8	52.8	133.9	306.6	162.9	166.0	195.0	61.1	8.2	42.3	1,200.1
1987	53.8	46.7	63.7	85.3	106.0	192.5	451.3	302.3	30.4	63.7	59.7	0.0	1,455.4
1988	18.9	4.0	73.8	107.0	95.1	155.2	280.4	132.2	45.6	4.8	1.5	12.6	931.1
1989	164.6	142.8	80.9	40.6	42.5	337.1	598.4	402.5	309.8	3.1	60.0	10.4	2,192.7
1990	38.8	130.1	88.9	188.0	165.0	377.1	134.7	92.9	251.1	14.5	58.1	1.9	1,541.1
1991	47.6	44.8	125.2	157.6	64.4	237.5	535.4	403.4	244.2	0.3	15.7	44.8	1,920.9
1992	20.5	28.6	82.3	165.5	132.6	47.3	182.7	175.4	247.4	16.8	20.4	53.9	1,173.4
1993	36.0	68.8	65.2	22.8	160.6	236.2	204.5	600.8	31.8	50.4	84.4	33.9	1,595.4
1994	26.8	32.7	41.3	116.3	171.0	43.1	43.6	154.2	11.6	98.2	43.3	10.8	784.9
1995	34.9	25.4	71.5	132.5	116.7	83.7	210.2	191.2	57.9	46.8	4.2	-	975.0
1996	27.0	4.7	152.8	84.3	69.9	299.6	176.6	123.1	49.3	36.8	75.8	22.9	1,122.8
1997	11.6	11.2	48.7	95.7	168.4	233.2	387.3	231.7	13.9	1.2	171.6	70.3	1,444.8
1998	47.3	46.3	66.6	187.4	168.7	333.0	199.7	511.5	275.2	69.6	16.3	10.0	1,922.6
1999	32.0	31.0	156.4	95.6	174.2	197.0	466.9	439.5	345.2	29.8	15.4	-	2,045.0
2000	24.2	0.2	23.0	50.0	68.7	123.6	379.7	484.7	316.1	26.1	50.1	0.5	1,546.9
평균	29.8	43.5	75.0	140.6	129.7	200.7	276.0	271.4	165.4	54.8	47.6	19.6	1,463.1

자료 : 기상연보 (1957~2000년, 기상청)

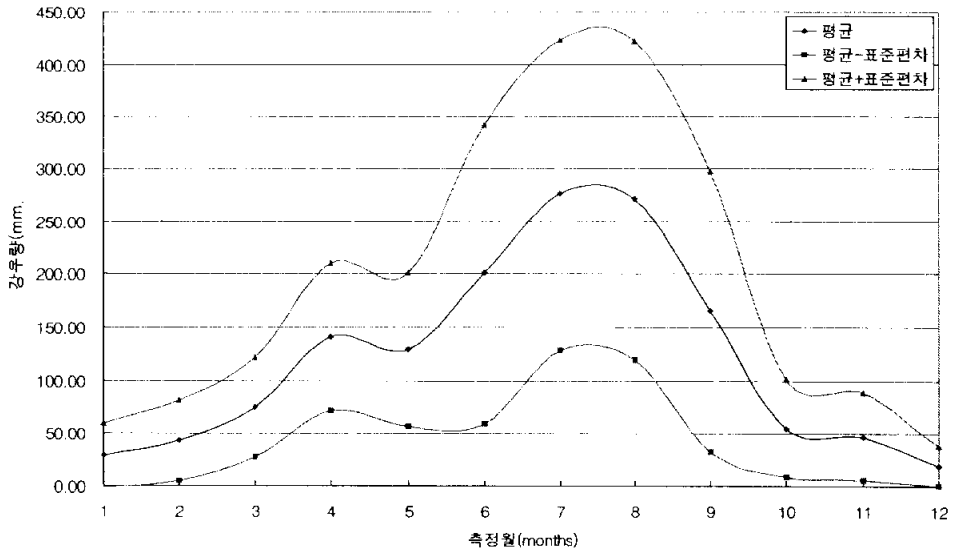


그림 3.5 월 강우량의 평균 및 표준편차

그림 3.5는 월 강우량의 평균 및 표준편차 값을 보여주고 있다. 진주지역 내에서는 평균적으로 7~8월 강우가 가장 크고, 또한 분산도도 높음을 알 수 있다.

4 토사유출량 산정시 GIS 적용 및 분석

4.1 (R)USLE 인자 추출

4.1.1 강우침식지수(R)

R은 강우침식지수 (j/ha)로 정상년 강우의 평균 침식 능력을 나타내는 것으로 연평균 개념과 특정한 호우사상에 대하여 적용되고 연평균 R값은 토양침식량과 강우 인자들간의 상관관계를 분석하여 강우에너지와 EI_{30} 지수로 알려진 최대 30분 강우강도의 곱을 100으로 나눈 값으로 산정하며 특정한 빈도의 호우사상에 대해 적용하려면 지속시간별로 간격별 강우강도를 구하여 식(4.1)에 대입하여 운동에너지 E를 계산한다.

$$E = 210 + 89 \log_{10} X \quad (4.1)$$

여기서, E는 주어진 강우강도 X에서의 운동에너지 ($m.t/ha/cm$), X는 시간간격별 강우강도 (cm/hr)이다. 식(4.1)에서 계산된 운동에너지를 에너지 단위로 바꾸기 위하여 시간간격 당 강우량을 곱한 후 호우사상에 대해 구간별로 계산하여 식(4.2)에 대입하면 특정한 빈도의 호우사상에 대하여 R값을 구할 수 있다.

$$R = \frac{(\sum E)I_{30} \max}{100} \quad (4.2)$$

여기서, $I_{30} \max$ 는 30분 지속 최대 강우강도이다.

강우침식지수 R은 정필균(1983)등이 기상청 산하 51개 관측소에 대하여 6~21년간의 자료를 이용하여 산정한 R값 중 본 대상유역을 대표하는 강우 사상으로, 본 연구에서 선정한 진주기상대에 해당하는 값은 424 J/ha이며, 단일호우시의 R값은 빈도별 24시간 지속시간의 단일호우사상에 대한 강우에너지 계수를 적용하였다.

표 4.1 단일호우사상에 대한 빈도별 강우에너지 계수(R)

구분	빈 도									비 고
	2년	5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	
R값 J/ha	174	312	427	555	639	750	839	1097	1361	정필균 등의 R값은 424J/ha

4.1.2 토양침식인자(K)

K는 토양 침식인자로 강우에너지와 유출에 의한 침식능에 저항하는 토양의 저항도를 나타내는 값으로 Erickson의 삼각도표를 이용하여 건설부(1992년)에서 제시한 한국 전역의 토양형별 K값을 개략토양도에 따라 적용할 수 있도록 대표 토양형으로 분류한 표에서 K값을 구할 수 있고 본 연구에서는 대상구역의 1/50,000 개략토양도로부터 resampling하여 R_o 는 0.00, M_{sa} 는 0.20, R_{sa} 는 0.20, R_{aa} 는 0.21, R_{xa} 는 0.33, M_{vb} 는 0.35와 같이 K값을 적용하였다.

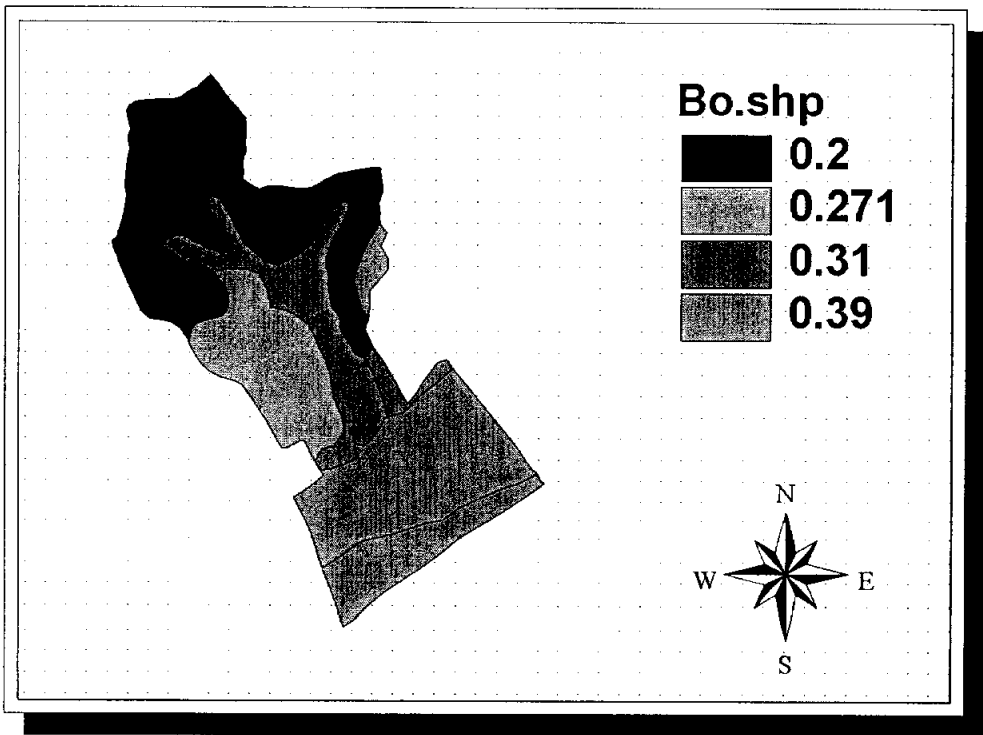


그림 4.1 대상구역의 (R)USLE K인자

4.1.3 경사면 및 경사인자(LS)

사면의 길이가 15ft 이상인 경우에 대해서는 USLE의 S인자 산정기법을 수정하여 다음과 같이 표현된다.

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \sin \theta < 0.09 \quad (4.3)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5 \quad \sin \theta \geq 0.09 \quad (4.4)$$

여기서, θ 는 사면경사각이다.

반면, 사면길이가 15ft 미만인 경우 세류작용이 발생하지 않기 때문에 S와 사면경사와의 상관관계는 미약하며 이 경우의 관계식은 식(4.5)로 표현된다.

$$S = 3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (4.5)$$

(R)USLE기법에서 L의 산정공식의 형태는 식(4.6)과 같이 산정하고 있다.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad (4.6)$$

여기서, λ 는 m 단위의 평면에 투영된 사면의 길이이며 22.1은 표준침식 밭의 m단위 길이이다. 사면경사길이의 멱지수(exponent) m은 식(4.7)와 같이 세류 및 세류간 침식의 비 β 와 관련이 있다.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (4.7)$$

$$\beta = \frac{11.16 \sin \theta}{3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (4.8)$$

(R)USLE기법에 의한 LS인자 산정방법에 의하여 대상구역의 DEM에서 경사도와 방향도를 추출한 다음 reclass하여 X, S, m에 대한 grid를 생성한 후, 각 layer를 연산하여 LS 값을 추출하였다.

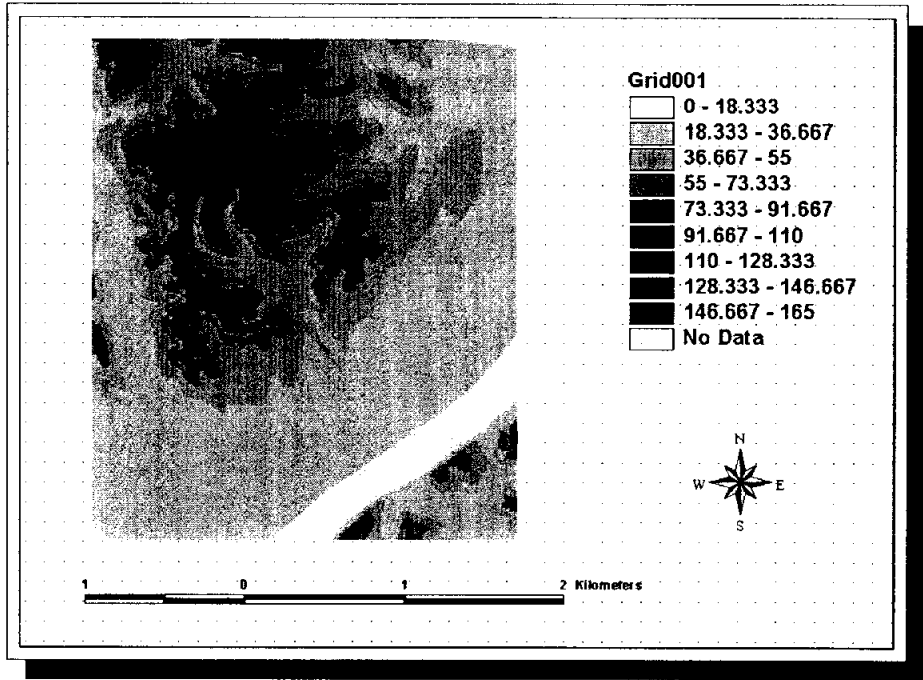


그림 4.2 대상구역의 수치표고 모델

4.1.4 피복인자(C) 및 토양보존인자(P)

C는 피복-관리인자로 경작의 종류와 식생의 상태 즉, 지표침식을 제어하는 요인인 지상식물의 크기, 지표면 부근의 상태, 지하의 식물 뿌리, 지표면 조도, 토양의 함수량 등에 따라서 달라지는 인자로 농경이나 토양의 관리기법이 침식에 미치는 영향을 반영하거나 토양보존대책 중 토양의 관리가 토양침식에 미치는 상대적 영향을 비교하기 위하여 사용하며 나대지에서의 토양침식량에 대한 임의의 작물이나 토양 덮개 조건에서의 토양 침식량의 비로 정의되고 본 연구에서는 토지이용도를 이용하여 임야는 0.03, 초지는 0.10, 농지는 0.15, 주택지는 0.20, 저수지는 0.00, 도시지역은 0.015, 나대지는 1.00과 같이 C값을 적용하였다.

P는 토양보존대책인자로 경작인자와 유사한 인자로서 산중턱을 따른 고랑이나 두둑을 설치한다든지 경사지를 계단식으로 깎는다든지, 다짐, 침사지 설치, 또는 통제구조물을 설치하는 등의 지표면에 설치된 대책들을 고려해 주는 인자로서 어떤 토양 보존대책을 세운 사면의 상·하 방향 경사지로부터의 토양유실에 따른 보존 대책에 대한 토양유실의 비로 정의되고, 이것은 등고선 경작, 등고선 대상재배, 등고선 단구효과, 지표하 배수, 건조한 농경지 조도의 효과를 평가하기 위해 사용하며, Wischmeier 등이 제안한 표에 의해 경사도의 범위에 따라 P값을 선정할 수 있다.

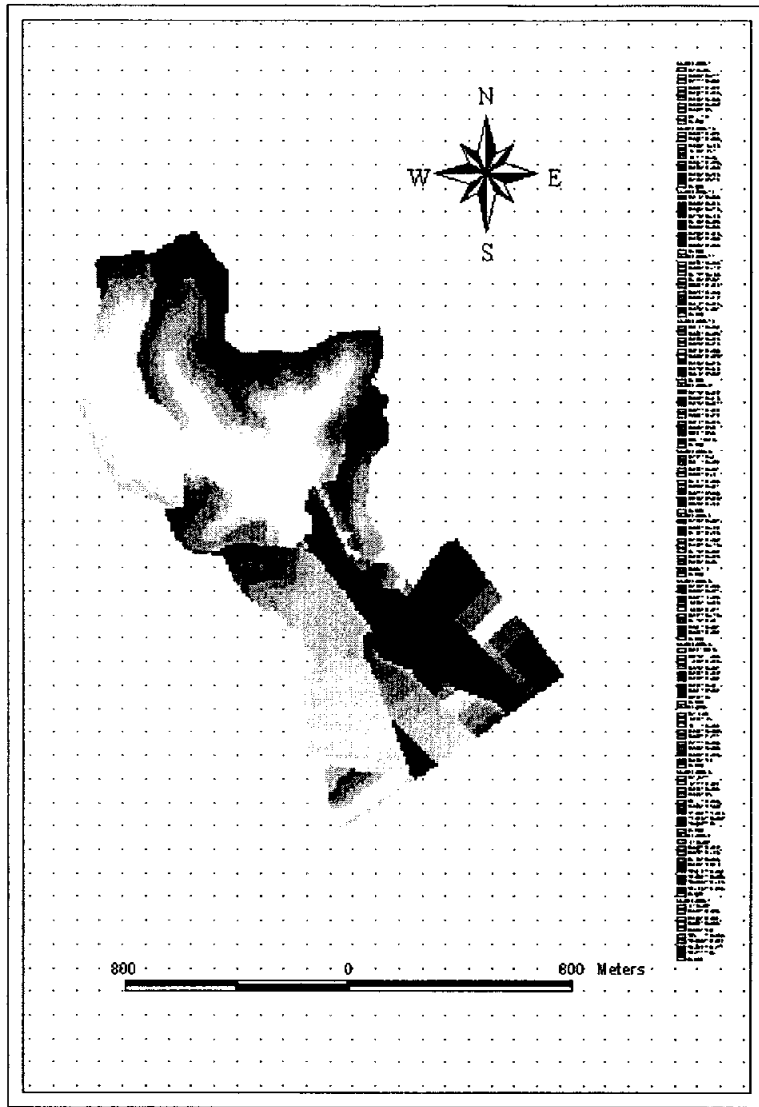


그림 4.3 대상구역의 (R)USLE LS 인자

4.2 격자크기별 경사도 분석

격자의 크기가 경사도에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 대상유역에 대하여 축척 1/1,000, 1/25,000인 수치지도를 통하여 작업을 수행하였다.

대상유역의 지형자료를 이용하여 TIN을 구축하여 slope에 의해서 그림 4.4와 4.6과 같이 유역을 분할시킬 수 있었다. 각 축척에 따른 유역분할은 그림에서 보는바와 같이 산지지역에서는 거의 비슷하게 분할이 되었지만 하류지역의 평지지역에서는 각각의 축척별로 그 형태가 변화가 있었다. 이는 각 축척별로 DEM을 형성할 때 격자 크기는 같더라도 경사에 따른 유역은 차이가 있기 때문이다. 또 하류지역은 주로 평지지역으로서 DEM 생성에 의한 오차 값이 산지지역보다는 크기 때문이라고 판단되어졌다.

4.2.1 경사도 분석(1/1,000)

그림 4.4은 축척이 1/1,000인 수치지형도에 의한 소유역을 나타내었다. 1~10까지의 소유역에 따른 격자크기별 경사도를 그림 4.5에서 비교하여 보았다. 그림에서 보는 바와 같이 격자크기별로 경사도는 감소하는 경향을 보였다.

격자의 크기가 커지면 경사 높이의 값이 둔화되어 경사가 완만해진다. 이러한 현상은 산지지역에서 두드러지게 나타났으나 평지지역에서는 그 값의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

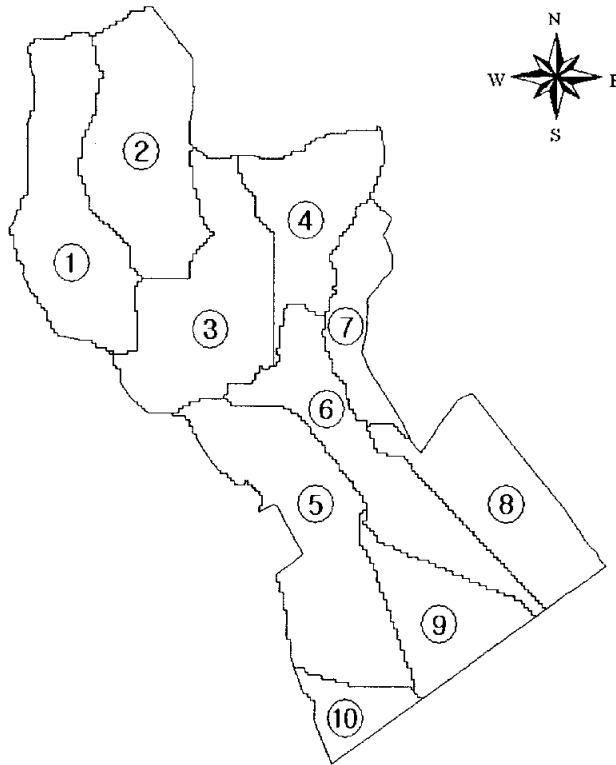


그림 4.4 소유역 분할(1/1,000)

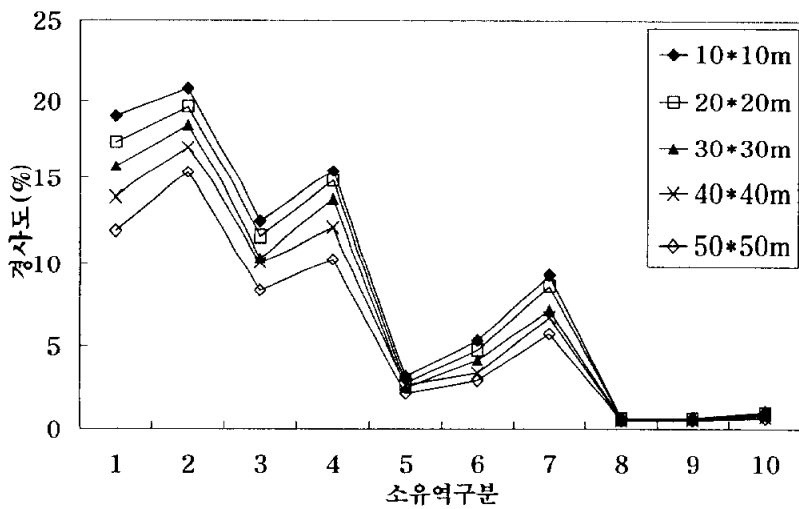


그림 4.5 격자별 경사도(1/1,000)

4.2.2 경사도 분석(1/25,000)

그림 4.6는 축척 1/25,000인 수치지형도에 의한 소유역을 나타내었다. 그림 4.4과 같이 소유역이 10개로 나누어졌고, 분할된 형태는 약간 다르다. 1/25,000수치지형도를 이용하여 TIN을 구축한 뒤에 다시 DEM을 구축하여 경사도에 의한 유역분할을 하였다.

경사도에 의해서 유역분할을 한 것은 (R)USLE모형에서 LS인자 값을 찾기 위해서이다. LS인자는 침식 경사면에 따른 인자로서 경사도에 의한 유역에서 값을 찾을 수 있다.

그림 4.7은 1/25,000의 소유역에 의한 격자별 경사도의 변화를 나타내었다. 그림 4.5와 같이 격자 크기의 변화에 따라 같은 경향으로 변하는 것을 알 수 있다. 또 경사도가 적은 지역에서는 변화의 값이 적게 나타났다.

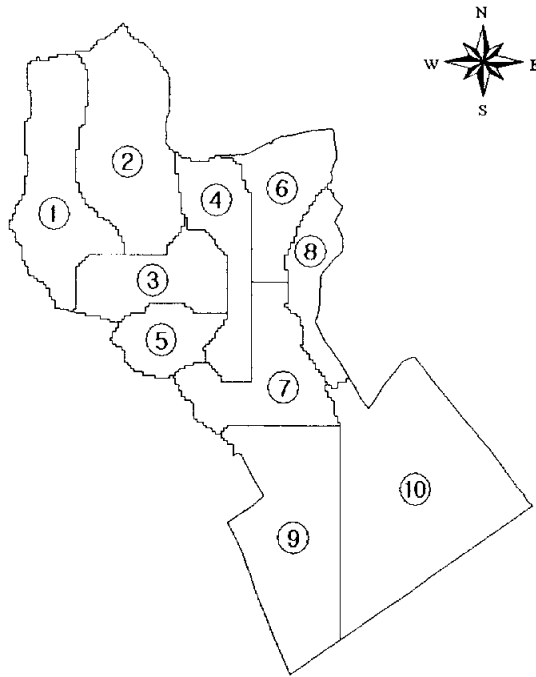


그림 4.6 소유역 분할(1/25,000)

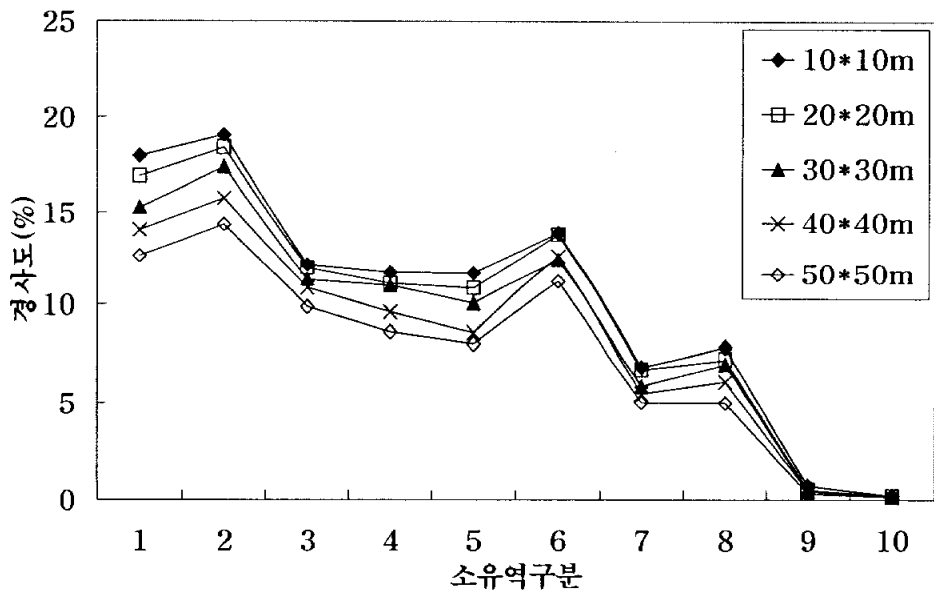


그림 4.7 격자별 경사도(1/25,000)

4.3 격자크기별 경사도분석

각 축척별 수치지형도를 이용하여 격자의 크기를 10m×10m부터 50m×50m까지 변화시키면서 경사도의 변화를 표 4.2에서 나타내었다.

표 4.2 격자크기별 경사도(%)

축척	소유역 번호	소유역 면적	격자크기(m)				
			10×10	20×20	30×30	40×40	50×50
1,000	1	1935	19.1	17.43	15.8	13.88	11.9
	2	1928	20.82	19.68	18.55	17.11	15.39
	3	1936	12.49	11.62	10.41	10.11	8.46
	4	1256	15.48	14.85	13.8	12.13	10.33
	5	2286	3.16	2.74	2.46	2.64	2.11
	6	1635	5.38	4.78	4.19	3.37	2.93
	7	746	9.39	8.72	7.25	6.82	5.8
	8	1571	0.67	0.65	0.57	0.54	0.53
	9	1035	0.71	0.66	0.62	0.56	0.55
	10	429	1.06	0.97	0.87	0.76	0.69
25,000	1	1642	18.01	16.94	15.29	14.07	12.64
	2	1889	19.08	18.44	17.44	15.78	14.37
	3	1043	12.14	11.96	11.3	10.84	9.87
	4	1023	11.71	11.1	10.97	9.62	8.64
	5	616	11.68	10.85	10.08	8.61	8.08
	6	1014	13.93	13.84	12.43	12.63	11.23
	7	1205	6.94	6.81	5.93	5.55	5.09
	8	695	7.95	7.33	7.09	6.18	5.07
	9	2208	0.74	0.52	0.48	0.47	0.34
	10	3330	0.21	0.19	0.16	0.13	0.14

4.4 토사유출량 비교

토사유출량을 산정하는데 LS인자만이 격자크기의 영향을 받는 것이 아니고, 토양 보존대책인자(P)도 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 GIS를 이용하여 LS인자와 토양 보존대책인자도 고려하여 표 4.3과 같이 토사유출량을 산정 할 수 있었다.

표 4.3 축척에 따른 토사유출량의 비교

축척	격자크기(m)				
	10×10	20×20	30×30	40×40	50×50
1/1,000	2481	2394	2211	2184	1675
1/25,000	2071	2297	1876	1759	1659

그림 4.8은 축척에 따른 격자별 토사유출량의 변화를 나타낸 그래프이다. 축척이 1/1,000과 1/25,000인 경우는 격자의 크기가 증가함에 따라 토사유출량의 값은 감소하는 경향을 보였으나, 1/25,000인 경우는 격자크기가 20m였을 때 증가하다가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 경사도가 LS인자에만 영향을 미치는 것이 아니고 토양 보존대책인자에도 영향을 미쳐 토사유출량 값의 변화에 영향을 미친 것으로 분석되었다.

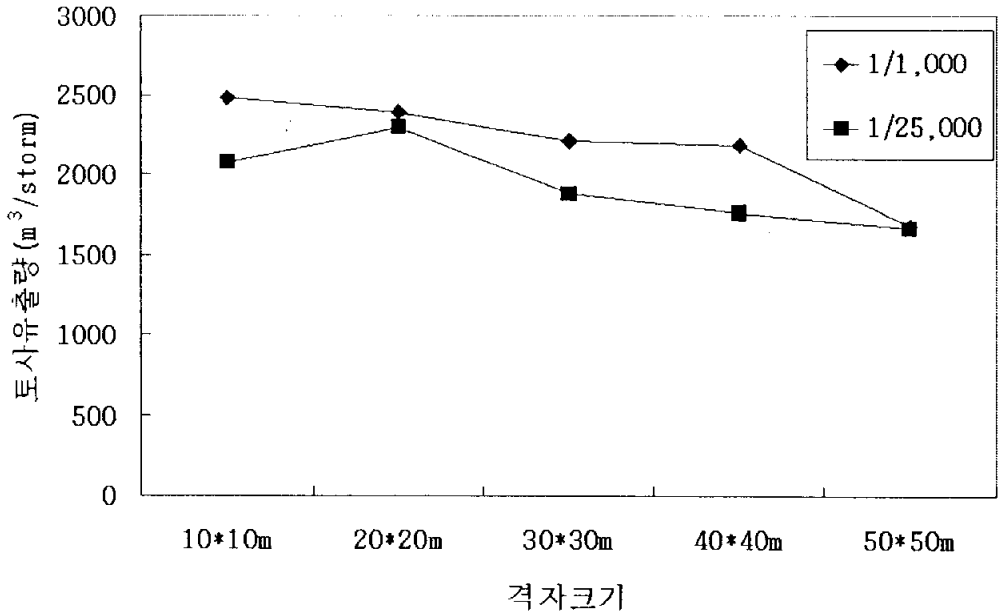


그림 4.8 축척에 따른 토사유출량의 변화

GIS를 이용하여 토사유출량 산정 시 격자크기의 객관성 있는 적용을 평가하기 위하여, 본 대상구역(1.5km²)에서 계획토사유출량을 수작업에 의하여 먼저 산정하고 ArcView Hydro모듈에서 산정한 값과 비교하였다. 수작업에 의한 값은 2,335m³/storm으로 산정 되었으며, 그림 4.8에서 알 수 있듯이 축척이 1/1,000인 경우 격자크기가 20m×20m인 경우에 2,394m³/storm으로서 거의 비슷하게 산정 됨을 알 수 있었다. 그리고 축척이 작아짐에 따라 토사유출량의 변화는 감소하는 경향을 보였다.

5 결론

연구대상유역(1.5km²)의 수치지형도를 이용하여 DEM 구축 시 격자크기가 수문지형인자에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 격자크기가 커지면 평균경사가 둔화되어 경사에 의한 수문지형인자(LS)의 값이 감소함을 알 수 있었다.
2. 축척이 작은 수치지도(1/25,000)의 격자별 오차 값이 축척이 큰 수치지도(1/1,000)의 오차보다 큰 것을 알 수 있었다.
3. (R)USLE모형의 인자 중 수문지형인자 추출 시 GIS를 이용함으로써 시간 및 인력을 줄일 수 있었고, 설계자의 숙련도 차이에 의해 발생하는 토사유출량 값의 오차에 대하여 보다 객관적인 값을 제시할 수 있었다.
4. 본 연구대상유역에서 토사유출량 산정 시 축척이 1/1,000인 경우 격자크기가 20m×20m이었을 때가 적절한 것으로 분석되었다, 이때 토사유출량은 수작업에 의해 산정된 값인 2,335m³/storm이었고, GIS에 의한 값이 2,394m³/storm으로 유사하게 산정되었다.
5. 연구대상유역에서는 격자크기가 10m×10m에서 50m×50m까지는 격자크기가 커짐에 따라 경사가 일정하게 감소하는 경향을 보였으나, 60m×60m이상의 격자크기에서는 대상유역의 유역크기가 작아서 유역을 표현하는데 있어서 큰 오차를 발생시켰으며, 이는 지형분석을 하는데 부적절함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 건설부(1992) 댐 설계를 위한 유역단위 비유수량 조사·설계.
2. 행정자치부 국립방재연구소(1998) 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).
3. 행정자치부 국립방재연구소(1998) 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(II).
4. 한국수문학회(1998) 제 6회 수공학 워크샵 교재.
5. 우효섭(2001) 하천수리학, 청문각.
6. 김웅태(1998) 분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 고려대학교.
7. 정휘철, 장종경, 신현석(2000) GIS 및 USLE를 이용한 연 토사침식량 산정에의 LS인자영향분석, 대한토목학회 학술발표회.
8. 김계현(1998) GIS 개론, 대영사.
9. 김채승, 윤창진(1999) 지리정보체계, 대영사, pp. 73-75.
10. 양인태(1997) 수문해석을 위한 DEM에 의한 지형의 경사도 분석에서 격자크기의 영향, 한국측지학회지, 제15권, 제2호.
11. 윤태훈(1997) 응용수문학, 청문각.
12. 유복모(1994), 지형공간정보 개론, 동명사.
13. 이정민, 노수상, 손인식, 김상용(2002) 개발에 따른 토사침식량 산정시 GIS적용에 관한 연구, 대한토목학회, 학술발표회 논문집.
14. 정인주, 이정민, 김상용, 이종출(2002) DEM에 의한 지형인자 추출에 따른 격자크기의 영향에 관한 연구, 한국지형공간정보학회논문집, 제 10권 제2호, pp. 67-75.
15. 정인주, 이정민, 김문수, 김상용(2002) 유역크기에 따른 DEM에 의한 수문지형인자 추출에 관한 연구, 대한토목학회, 학술발표회 논문집, pp. 303-306.

16. 김종호, 박무중, 강인주, 윤용남(2002) 토사유출량 산정을 위한 분포형 모형과 총괄형 모형의 비교연구, 한국수자원학회, 학술발표회 논문집 pp. 934-939.
17. 정승권, 안중수, 심순보(2002) 단일강우사상의 토양유실량 산정을 위한 MUSLE기법의 적용, 대한토목학회, 학술발표회, pp. 534-537.
18. 김양수, 박무중, 박덕근(1998) 토사유출량 산정기법의 적용성 분석, IHP연구 보고서.
19. 권혁현, 손광익(2002) Distributed Model을 이용한 USLE LS-factor 산정, 대한토목학회, 학술 발표회, pp. 538-541.
20. 최철웅(1999) 지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구, 박사학위논문, 부산대학교.
21. Calverry, H.S.(1960) Soil Surcey of panola county, Mississippi soil surcey series 1960(10), pp. 1-33.
22. C.T.Haan, B.J. Barfield and J.C. Hayes(1994) Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments, *Academic Press*.
23. Frenette, M, and P.Y.Julien(1987) Computer modelling of soil erosion and sediment yield from large watershed, *Int. J. Sediment Re.*, Vol.2, NOV., pp. 39-68.
24. Hickey, R, A. Smith, and P. Jankowski(1994) Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID: *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 18, no. 5, pp. 365-380.
25. Julien, p. Y. and Frenette, M(1987) Macroscale analysis of upland erosion. *Hydroloical Sciences Journal* 32(3), pp. 347-358.
26. Julien, p. Y. and Gonzale Tdel Ranago, M.(1991) Spatially varied soil erosion under different clomates. *Hydrological Sciences Journal* 36(6). pp. 511-523.
27. Gregory I., Morris, Jiahua Fan(1997) Reservoir Sediment Handbook,

McGraw Hill.

28. Knisel, W.G.(1980). CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems, USDA Conservation research report No.26.
29. Mark, D. M.(1984) Automated detection of drainage network from digital elevation, *Cartographica*, 21, pp. 168-178.
30. Quinn & Boven(1991) The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using Digital Terrain Models, *Hydrological processes*, Vol. 5, pp 59-79
31. Vijay P. Singh, M. Fiorentino(1996) *Geographical Information Systems in Hydrology*, Prentice Hall.
32. Wischmeier W.H., and D.D. Smith(1965) Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. US. Dep. Agric., *Agricultural Research service. Agricultural Handbook*. No. 282.

感謝 文

늦었다고 생각하는 그때가 가장 빠르다는 주변 知人들의 권유에 힘입어 배우고 자하는 욕심에 대학원에 진학하여 새로운 각오로 캠퍼스 언덕을 오르는가 엇그제 같은데 벌써 2년6개월이란 세월이 지나 卒業論文을 쓰게되니 순간처럼 지나버린 학교생활이 못내 아쉽고 感懷 또한 새롭습니다.

먼저 대학원 진학과 본 論文이 완성되기까지 아낌없는 사랑과 정성으로 세심하게 지도해주신 김상용 지도교수님께 머리 숙여 眞心으로 感謝를 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 본 논문이 알찬 결실을 맺을 수 있도록 면밀하게 검토해 주시고 다듬어 주신 이종출 교수님과 손인식 교수님을 비롯 깊은 학문적 가르침으로 인격체로 거듭나게 해 주신 김종수 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이영대 교수님, 김명식 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께 眞心으로 尊敬과 깊은 感謝를 표하는 바입니다.

또 대학원 생활동안 연구실에서 同苦同樂하며 이 논문이 완성되기까지 아낌없는 지원과 성원을 해준 정인주, 이정민, 조용재, 채종훈, 육승우, 조희호에게 깊은 감사를 표하며, 그리고 항상 조언을 아끼지 않았던 환경수리연구회 김해수 회장님과 박상주 부회장을 비롯하여 김문수, 김선용, 박봉규, 김재호는 물론 특히 2년6개월 동안 같이 지도교수님의 가르침을 받으면서 특별한 인연이 된 滿學徒 손차범 회원님 등 모든 분들께 감사의 마음을 전함과 동시에 앞으로도 좋은 인연이 계속되기를 간절히 所冀합니다.

또한 학교생활에 지장이 없도록 여러 가지로 배려해 주시고 격려해 주신 직장상사, 동료 여러분들과 항상 발전적인 助言과 激勵을 아끼지 않으셨던 知人들께도 진심으로 感謝를 드립니다.

마지막으로 열악한 가정살림 등 여러 가지 어려운 환경에서도 태섭이와 현섭이

가 바르게 성장하도록 최선을 다하면서 뒤늦게 공부하는 남편 뒷바라지
까지 하느라 자기 머리에 흰 서리가 내리기 시작하는 줄도 모르는 나의
영원한 동반자 정진화와 훌쩍 객지로 떠난 뒤 부모님께 제대로 효도 한번
하지 못한 못한 자식인데도 자나깨나 오직 자식이 잘되기만을 기도하며
외로이 고향을 지키시는 어머님께 이 작은 結實을 바치고 싶습니다.

2003년 6월

노수상 올림