

하천차수를 고려한 유출량 산정에 관한 연구

Study on the Runoff Estimation Considering Stream Order

최종인* / 강상혁**
Choi, Jong In / Kang, Sang Hyeok

Abstract

In this paper the watershed is divided by stream order law of Horton to estimate the runoff with stream order. We use the contour data to extract spatially distributed topographical information like stream channels and networks of sub-basins. A contour model is developed, validated, and adopted to estimate the effective stream order number for the runoff. The results show that the peak discharge which is divided into first river order was close to observed one. The contour model will provide effective informations to plan river works classified by sub-basins for river restoration.

key words : River restoration planning, river-order, contour model, runoff characteristics

요 지

본 연구는 Horton의 하천차수 구분방법으로 대상유역을 분할하고 하천차수별 유출량을 산정하고자 하였다. 등고선 데이터를 이용하여 소유역 하도망과 같은 유역의 지형량을 자동적으로 도출하였으며, 등고선 데이터를 모형화하여 하천 차수에 따른 강우 유출량을 해석하였다. 하천 차수별 첨두유출량을 계산한 결과, 1차 하천까지를 모두 고려한 유출량이 실측치에 근접한 것으로 나타났다. 본 등고선 모형은 향후 소유역별 하천 복원계획의 수립시 유효한 자료를 제공할 것으로 기대한다.

핵심용어 : 하천복원계획, 하천차수, 등고선 모형, 유출특성

1. 서 론

최근 자연복원형 하천공법의 도입과 더불어 치수 안전도를 향상하기 위한 초과 홍수의 대응이 중요하게 되었다. 홍수의 유출현상을 규명하기 위하여 수리, 수문학적 이론에 기초한 산복사면 및 하도를 유하하는 강우의 운동을 추적하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Tachikawa et al., 2003). 이는 지형량이 유출에 미치는 영향(Band, 1986 ; Fairfield et al., 1991)에 대한 새로운 강우유출 해석 접근이며 점차로 격자 분할정도 및 흐름 네트워크의 구성에 따른 유출의 영향 등을 검토하기에 이르렀다.(Cabral and Burges, 1994 ; Moore, 1991)

그러나 강우유출에 대한 많은 역학적 방법의 진전에

도 불구하고 범용적인 수문모형은 제시하고 못하는 실정이다. 이는 우수 운동의 대상인 하천 유역의 성격이 불분명한데에 기인한다. Horton은 종래의 서술적인 지형학을, 개략적이지만 과학적인 개량법을 통하여 역학적인 분야에 도입한 수문학의 창시라는 점에서 큰 의미를 가진다. 그 후 Strahler(1952)에 의해 광범위한 실측자료에 의해수리학, 수문학, 수문지형학, 기후학 등의 이론적 토대를 바탕으로 응용되게 되었다(Iachikawa et al., 1996 ; Nakakita, 2000).

더욱이 최근에는 수치지형정보, 리모트센싱 등에 의한 토지피복정보, 레이다 강우계 등 광역적인 우량관측 체계의 정비로 인하여 유역에 관한 지리적 정보, 기상학적 정보가 쉽게 수집되어 유역에 관한 정보를 반영한 분포형 홍수 유출모형이 일반화되게 되었다(Lu,

* 삼척대학교 토목공학과 교수 (e-mail : jichoi@samcheok.ac.kr)

** 정희원 · 삼척대학교 환경공학과 겸임교수

1989 ; Noguch, et al., 2000, 2001; Pradhan et al., 2004). 분포형 모형은 유출장인 유역의 지형정보를 적절하게 포함하는 모형이다. 이 경우 어느 정도의 세밀함으로 유출장을 모형화하는 것이 적절한가, 또한 어느 정도의 세밀함으로 유역장(流域場)에 대한 정보를 취득할 필요가 있는가가 문제가 된다(Qiang, et al. 1999 ; Fujita, et al. 2001 and Ao, et al. 2001). 유출현상의 모의실험 결과에 요구되는 정도, 대상으로 하는 유출현상의 시·공간적 스케일에 따라 적절한 집중화의 지표를 명확히 할 필요가 있다. 이를 위해서는 먼저 유역의 실제 지형을 반영한 모형을 구축하여야 하는데 공간상의 제약에 따른 입력 자료의 적용방법에 따라 집중형 또는 분포형으로 구분된다. 이와 같은 관점에서의 국내의 연구를 살펴보면, TOPMODEL이 가지는 유역의 제약성을 극복하기 위하여 소유역을 연결한 준 분포형 유출모형을 개발하여 소양강 상류지역(유역면적 2,703km²)에 적용한 바 있으며(배덕효와 김진훈, 2005), 평균 강우의 적용에 따른 오차를 줄이기 위하여 공간적으로 분포된 강우자료를 이용하여 준 분포형 접근을 시도한 연구가 진행되고 있다.(안상진과 윤석환, 2005) 또한 GIS구축시 유역의 공간 변동을 고려한 입력자료의 구축과(최현상과 한건연, 2004) 유역 분할이 유출에 미치는 영향에 대한 연구에서 유역의 분할 개수가 증가함에 따라 첨두유량은 증가하고 첨두시간은 짧아진다는 연구결과를 도출한 바 있다.(김경탁과 최윤석, 2003)

이와 같은 배경으로 인하여 본 연구에서는 국지적인 강우사상을 반영하기 위하여 수치 지도로부터 전체유역을 하천 차수(stream order)를 고려한 소유역으로 세

분하여 수문모형에 필요한 유출 인자를 도출, 소유역별 유출 모형의 집중화를 통하여 강우유출량의 정량적인 산정과 아울러 관측된 홍수량과의 비교를 통하여 대상 유역에 있어서 유역분할의 적정성을 검토함으로써 향후 적정 홍수유출량 산정 및 하천계획에 유효한 정보를 제공하고자 한다.

2. 하도망 분포에 관한 확률론적 이론

2.1 하도망 형성

유역 지형은 구조지형 위에 침식지형이 형성된 것이다. 구조지형은 지각변동과 같은 대규모 내적 요인에 의해 생긴 것으로 이 것이 풍화, 혹은 우수 등에 의한 외적 요인에 의해 침식되어 현재의 지형이 만들어진 것이다. 그러나 내적 요인은 통상 그 발생 확률이 극히 작으므로 하도망을 형성하는 요인은 거의 외적 요인에 의한 것으로 볼 수 있다. 장기간에 걸쳐 외적 요인은 하나의 유역에 대하여 시간적, 공간적으로 일정하다고 볼 수 있다. 따라서 하도망의 형성 과정은 일정한 외적 요인이 작용하는 확률과정이라 할 수 있다.

2.2 하도망의 모형화와 그 가능성의 확률론적 접근

먼저 하도망의 발달 과정을 보면 그림 1과 같이 모식적으로 나타낼 수 있다. 임의의 차수 1의 하도가 발생했다고 가정한다. 그 하도 ①에 별도의 차수 ②가 유입한다고 하면, 좌로부터 유입하는 경우의 (a)와 우로부터 유입하는 경우 (b)의 2가지 가능성이 있다. 또한 (a)의 배열상태에 차수 1의 하도 ③이 유입하는 장소는 하도 ②의 좌우 및 하도 ①이 합류점에 의해 분할된 두 번째의 하도구분의 각각 좌우가 되어 함께 6개소가

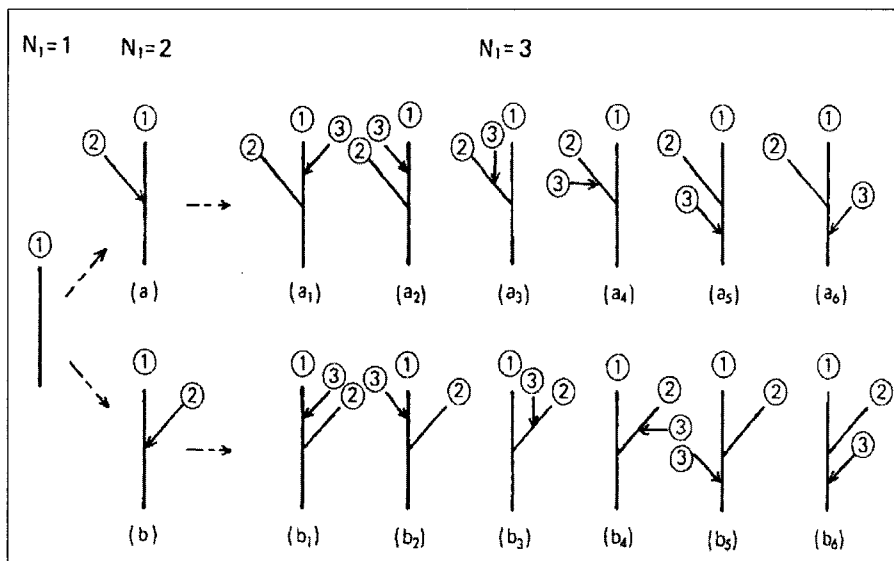


그림 1. 하도망의 형성과정

됨을 알 수 있다. (b)의 경우도 같은 같다. 이와 같이 차수 1의 하도에 발생의 순서에 의한 구분을 한다면 차수 1의 하도 수 $N_1 = 2$ 의 경우는 (a), (b)의 2가지, $N_1 = 3$ 의 경우는 (a1), (a2), (a3),..., (a6)과 (b1), (b2), (b3),..., (b6)의 합계 $2 \times 6 = 12$ 의 다른 하도 배열 상태가 가능하게 된다. 이 다른 배열수의 일반적인 증가 경향을 고찰해 보자. 그림 2에 나타난 바와 같이 차수 1의 하도가 있는 하도 구분에 합류하면 그 하도 구분은 새로운 유입에 의해 생긴 합류점에 의해서 2개로 분할되고 또한 새롭게 유입된 하도도 하나의 하도 구분이 된다. 즉, 새로운 하나의 하도 유입에 의해 하도 구분은 항상 2개 증가한다. 따라서 다음의 하도가 유입하는 다른 장소는 그 증가한 2개의 하도 구분 각각의 좌우를 고려하면 4개 증가한 것이 된다. 예를 들어 $N_1 = 4$ 가 될 때는 $N_1 = 3$ 일 경우의 다른 배열 (a1), (a2), (a3),..., (a6), (b1), (b2), (b3),..., (b6)의 각각에 대하여 $6+4=10$ 개소의 하도 ④가 유입하는 다른 장소가 있으므로 각각 10개 분기의 다른 배열이 생겨 결국은 $12 \times 10 = 120$ 개의 다른 배열을 얻을 수 있음을 의미한다. 이로부터 차수 1의 하도수 $N_1 = n$ 의 경우 다른 배열의 총수 Y_n 은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Y_n = \prod_{r=2}^n (4r-6) \quad (\text{for } n \geq 2) \quad (1)$$

$$= 1 \quad (\text{for } n = 1)$$

여기서 Y_n 은 차수 1의 하도에 발생의 순서에 의한 구별을 할 경우 차수 1의 하도수 $N_1 = n$ 의 경우에 일어날 수 있는 다른 배열의 집합 원소의 총수를 나타낸다.

입의 하도 배열상태의 차수 1의 하도에 발생의 순서에 의한 구별을 붙인 경우 몇 개의 다른 상태가 얻어질 수 있는지 고찰해 보기로 한다. 하나의 유역에 있어서 모든 차수 1의 하도는 하나의 개곡선에 의해 순서를 붙일 수 있다. 따라서 $N_1 = n$ 의 경우 차수 1의 하도에 발생의 순서에 의한 구별을 부여하면 $n!$ 의 다른 상태의 하도가 생성된다. 이로부터 $N_1 = n$ 의 경우 가능한 배열의 총수를 Z_n 이라 하면 Z_n 개의 개개의 배열은 모두 $N_1 = n$ 으로부터 생성되므로 이의 관계는 다음과 같이 정리된다.

$$Y_n = Z_n \cdot n! \quad (2)$$

Z_n 은 상기 식 (11)로부터,

$$Z_n = \prod_{r=2}^n (4r-6)/n! \quad (\text{for } n \geq 2) \quad (3)$$

로 가능한 배열의 총수를 계산할 수 있다.

2.3 연구절차

유역분할의 정도가 강우 유출에 영향을 미칠 것이라는 것은 지형 수문학(topographical hydrology)에 있어서 오래된 가정 중의 하나로 인식되어 왔다. 특히 유출장에서의 접근은 적용의 편리성으로 인하여 격자형 유출모형 위주로 연구되어 왔다. 격자형 모형은 GIS (Geographic Information System)기술의 발달과 아울러 격자의 크기가 유출에 미치는 영향을 검증할 정도로 세밀하게 진행되었다. 그러나 실제 수문계획에 있어서는 유역 경계가 명확한 소유역별로 강우 유출량을

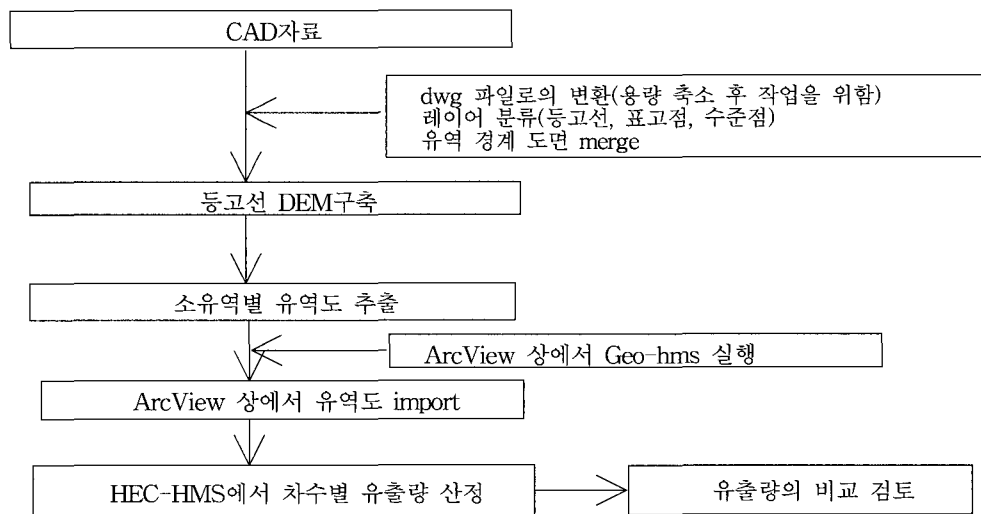


그림 2. 등고선 유출 모형의 구축

산정하는 것이 보다 효과적이라 할 수 있다. 유출장의 적용지역인 오십천 도계 지역은 유역 지형의 형태학적 측면에서 보면 하천의 유로연장이 짧고 하상 경사가 크며 세류가 발달한 전형적인 산지 하천 형상을 보이고 있으므로 소유역의 분할 정도에 따라 강우 응답 특성이 현저할 것으로 예상되며 향후 초과 홍수량의 계획에 있어서도 유효한 자료를 제공할 것으로 본다. 본 연구는 이러한 관점에서 홍수 대응상 중요한 요소인 유역분할에 따른 홍수량, 첨두유량(peak discharge)의 변화 및 그의 도달시간의 변화에 대해 검토하고자 하였으며 유출계 모형의 구성은 다음과 같다.

- 1) 대상유역을 Horton의 차수법칙에 의해 분류하여 각각 지류는 하나의 소유역으로 간주한다.
- 2) 전체 4차 하천인 도계 유역을 각 차수별로 합성(merge)하여 결합된 소유역별로 수치정보에서 취득한 지형량을 입력하여 하도망계 모형을 집중화 한다.
- 3) 집중화한 각 소유역은 최 하단부에서 유출되도록 함으로써 유역전체 모형을 구축하며 전반적인 계산 절차는 그림 2와 같다.

3. 유출 모형의 구축

강우유출 모형의 구축은 HEC-HMS에 내장되어 있는 Basin model의 GUI(graphic user interface)를 이용하여 자료의 입출력이 가능하다. GUI를 통하여 수문요소를 나타내는 Basin model 구성, 자료편집, Basin model의 관리, 모의 결과 검토 등의 작업을 할

수 있다.

배경지도는 Basin model의 공간적인 특성을 표현할 목적으로 만들어 지며 유역의 모식도와 같은 역할을 한다. Basin model에서 구성되는 수문요소들은 소유역(sub-basin), 하도구간(river reach), 합류점(junction), 저수지(reservoir), 분류점(diversion), 수원점(source) 및 함몰점(sink) 등을 포함하고 있다. Basin model을 구성하기 위해서는 위와 같은 수문요소들을 정의하고 이들의 반응을 모의하기 위한 자료가 입력되어야 한다. 소유역은 유역 출구로 홍수량을 유출시키는 요소이고 하도구간은 상류의 유입수문곡선을 받아서 하류로 유출수문곡선을 내보내는 선형 함수와 같은 요소이며 합류점은 두개 이상의 유입수문곡선이 합쳐져서 하나의 유출수문곡선을 만들어지는 위치이다. 소유역의 분할 정도는 유역의 물리적 매개변수와 함께 유출량에 직접적인 영향을 미치는 지형인자(김성준, 2002; 김성준, 2002; Ru, 1989)이나 표고 DEM과는 달리 본 등고선 모형인 경우 소유역 추출을 최상단의 지류인 1차하천(first-order)까지 세분하였다.

유출량의 산정에는 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 현재 실무분야에서 일반적으로 적용하고 있는 단위도법인 Clark 유역 추적법을 사용하였다. 그림 3~그림 6은 각 차수별로 계산하기 위하여 ArcView상에서 Hec-hms에서 계산을 수행하기 위한 네트워크화한 것을 나타낸다.

전체적인 네트워크의 유출성분은 가상유로상의 운동방정식을 만족하도록 하였다.

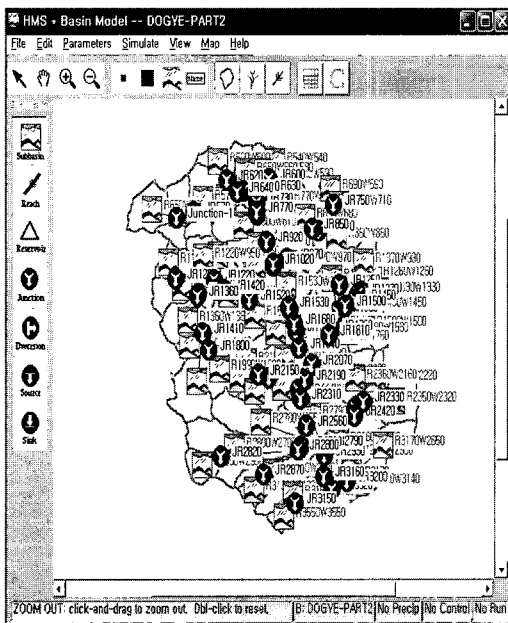


그림 3. 1차하천 분할(N=62)

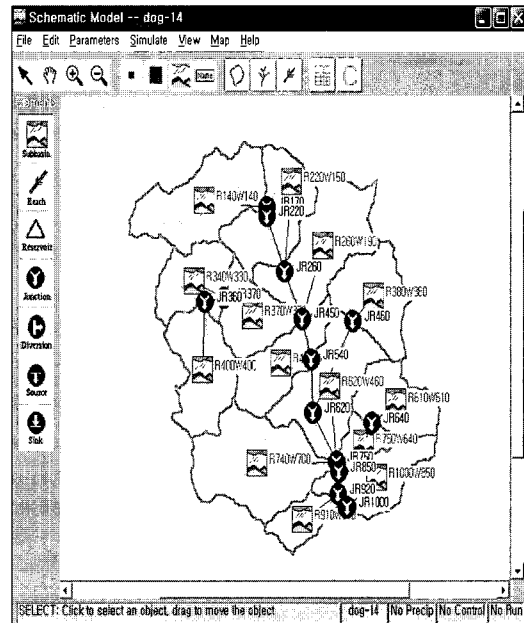


그림 4. 2차하천 분할(N=14)

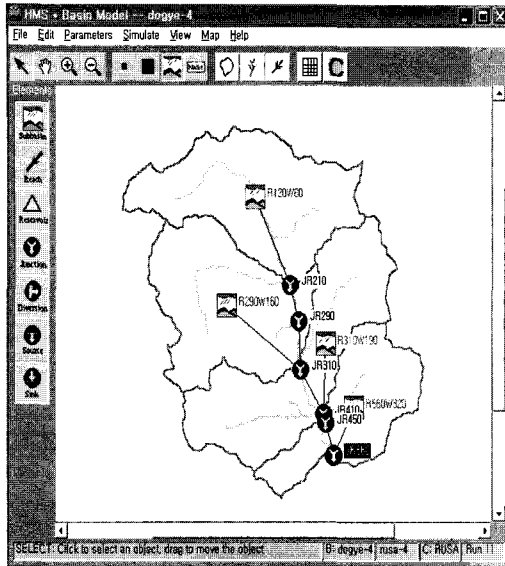


그림 5. 3차하천 분할(N=4)

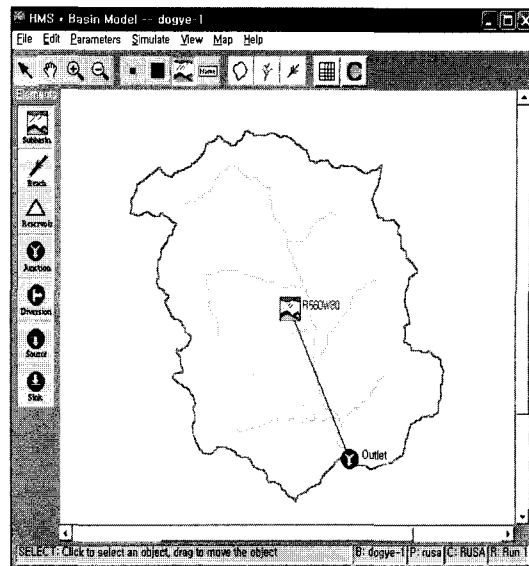


그림 6. 4차하천 적용(N=1)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

여기서 Q는 흐름 방향 x에 대해 시간 t변화에 따른 유량이며 A는 통수면적을 나타내며 유역 내 유량은 보존되므로 (1)식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (5)$$

본 모형에 적용된 주요 매개변수는 다음과 같다.

1) 초기 손실계수(Constant loss rate)

도계 유역은 주로 모래질로 B토양군에 포함되므로 이에 대한 값 7.62mm/hr를 채택하였다.

2) 미계측 유역의 저류상수(K)산정

우리나라의 경우 적절한 실측자료가 부족하여 이론적인 방법에 의하여 저류상수를 결정하기 어려우므로 현재 실무에서 주로 사용되는 저류상수(K)와 도달시간

(Tc)과의 관계를 이용하였다(정중호와 윤용남, 2003).

$$K = aTc \quad (6)$$

계수 a는 0.8 ~ 1.2 범위 중에서 일반적으로 적용하는 중간 값인 1.0을 채택 하였다.

3) 도달시간(Tc)산정

도달시간은 Rizha공식의 유로연장과 유역의 평균경사와의 관계로부터 구하였으며 본 유역에 적용한 계수는 하도경사가 1/200 이상인 값을 사용하였다.

$$T_c = 0.833LS^{-0.6} : \text{Rizha공식} \quad (7)$$

여기서 L : 유로연장(km)

S : 유역의 평균경사(m/m)

주요 유역특성인자는 HEC-GeoHMS로부터 구하였으므로 정리하면 표 1~4와 같다.

표 1. 도계 유역 지형특성인자(4차하천 전체유역,N=1)

SUBBASIN	A(km)	RL(km)	S(m/m)	Tc(hr)	CLR(mm/hr)
R560W80	136.8	23.208	0.042	2.519	7.62

A:유역면적 RL:하천 길이 S: 유역경사 Tc: 도달시간 CLR: 초기손실율 N 하천분할 수

표 2. 도계 유역 지형특성인자(3차 하천분할, N=4)

SUBBASIN	A(km)	RL(km)	S(m/m)	Tc(hr)	CLR(mm/hr)
R120W80	39.318	14.900	0.059	1.130	7.62
R310W190	37.191	11.140	0.071	0.756	7.62
R290W160	37.141	15.927	0.063	1.162	7.62
R560W320	23.147	8.546	0.106	0.456	7.62

표 3. 도계 유역 지형특성인자(2차 하천 분할, N=14)

SUBBASIN	A(km)	RL(km)	S(m/m)	Tc(hr)	CLR(mm/hr)
R220W150	11.077	6.035	0.107	0.320	7.62
R260W190	14.199	8.382	0.101	0.461	7.62
R140W140	14.041	10.019	0.078	0.643	7.62
R380W380	9.592	4.529	0.143	0.202	7.62
R340W330	7.476	4.342	0.145	0.192	7.62
R370W370	7.362	5.663	0.110	0.296	7.62
R450W450	8.526	4.741	0.177	0.186	7.62
R620W460	13.418	8.297	0.086	0.502	7.62
R610W610	7.629	3.811	0.194	0.142	7.62
R750W640	3.43	4.251	0.155	0.181	7.62
R400W400	10.536	7.096	0.113	0.364	7.62
R740W700	17.421	8.357	0.115	0.425	7.62
R1000W850	8.142	5.506	0.164	0.226	7.62
R910W910	3.946	4.221	0.172	0.168	7.62

표 4. 도계 유역 지형특성인자(1차 하천분할, N=62)

SUBBASIN	A (km)	RL(km)	S(m/m)	Tc	CLR (mm/hr)	SUBBASIN	A (km)	RL(km)	S(m/m)	Tc	CLR (mm/hr)
R540W540	0.78	1.361	0.308	0.038	7.62	R1680W1550	1.841	3.211	0.221	0.110	7.62
R500W500	1.219	2.396	0.220	0.083	7.62	R1580W1580	1.732	2.514	0.239	0.082	7.62
R600W590	0.902	1.925	0.249	0.062	7.62	R1810W1760	2.699	3.234	0.149	0.141	7.62
R630W580	1.302	2.627	0.228	0.089	7.62	R1770W1610	1.727	2.799	0.136	0.129	7.62
R650W560	2.033	3.182	0.185	0.122	7.62	R1400W1400	3.292	2.695	0.276	0.081	7.62
R640W620	1.896	2.387	0.266	0.073	7.62	R1520W1430	4.044	4.648	0.174	0.184	7.62
R770W730	2.468	3.712	0.160	0.155	7.62	R1800W1800	5.029	5.414	0.125	0.262	7.62
R690W690	0.687	1.246	0.300	0.036	7.62	R1790W1790	0.737	1.577	0.393	0.038	7.62
R750W710	1.885	3.229	0.213	0.113	7.62	R2150W2060	1.414	2.583	0.274	0.078	7.62
R570W570	3.294	4.048	0.143	0.181	7.62	R1940W1930	2.443	4.347	0.129	0.206	7.62
R790W790	2.494	2.466	0.131	0.116	7.62	R2070W2070	1.741	2.537	0.201	0.092	7.62
R850W680	3.472	4.258	0.143	0.190	7.62	R2140W2140	1.149	1.842	0.336	0.049	7.62
R820W820	3.106	4.434	0.087	0.266	7.62	R2190W2190	0.752	2.822	0.156	0.119	7.62
R900W810	3.003	3.869	0.186	0.147	7.62	R1990W1990	1.466	2.403	0.212	0.085	7.62
R860W860	2.583	2.864	0.197	0.105	7.62	R2330W2220	1.737	2.992	0.217	0.104	7.62
R1240W1240	0.753	1.639	0.251	0.052	7.62	R2330W2170	0.772	1.913	0.325	0.052	7.62
R970W970	1.934	2.808	0.173	0.112	7.62	R2360W2160	2.579	3.286	0.197	0.121	7.62
R1020W910	2.626	3.567	0.186	0.136	7.62	R2270W2210	2.42	3.099	0.181	0.120	7.62
R1130W1130	1.084	1.565	0.298	0.045	7.62	R3160W2420	4.747	6.009	0.111	0.312	7.62
R1150W1150	0.613	1.746	0.354	0.045	7.62	R2350W2320	3.485	3.317	0.209	0.118	7.62
R1220W950	1.998	2.824	0.244	0.091	7.62	R2790W2310	3.354	3.859	0.069	0.266	7.62
R1040W1040	0.898	1.875	0.231	0.063	7.62	R2780W2550	5.485	6.896	0.139	0.313	7.62
R1250W1060	2.376	3.364	0.151	0.145	7.62	R2800W2700	6.647	7.122	0.130	0.336	7.62
R1420W1210	3.318	3.339	0.169	0.135	7.62	R2960W2960	1.234	2.206	0.245	0.071	7.62
R1260W1260	0.677	1.658	0.300	0.047	7.62	R3170W2650	3.28	4.618	0.186	0.176	7.62
R1370W980	1.725	3.442	0.168	0.139	7.62	R2950W2950	1.648	2.089	0.279	0.062	7.62
R1530W1050	2.736	2.901	0.117	0.146	7.62	R2870W2870	2.721	3.86	0.175	0.152	7.62
R1340W1340	0.989	1.672	0.305	0.047	7.62	R3320W3140	2.036	2.993	0.183	0.115	7.62
R1450W1450	1.325	2.439	0.230	0.082	7.62	R3130W3130	0.919	1.507	0.305	0.043	7.62
R1300W1180	3.792	4.342	0.145	0.192	7.62	R3150W3150	2.938	4.221	0.172	0.168	7.62
R1500W1500	1.746	3.292	0.215	0.115	7.62	R3550W3550	1.008	1.623	0.274	0.049	7.62

4. 강우 유출 모형의 적용 및 검토

4.1 적용 대상 유역

삼척 오십천 유역은 동경 128° 59' 30" ~ 129° 07' 54", 북위 37° 09' 14" ~ 37° 20' 14" 사이에 위치하고 있으며, 유역의 동측으로는 강원도 삼척시 근덕면, 노곡면이 서측으로는 태백시 하장면, 남측으로는 시가지와 경계를 이루고 있다.

본 연구에서 적용유역은 삼척 오십천의 상류인 도계 유역이며 유역면적은 삼척오십천 전체 유역면적 394.72km²의 40.7% 해당하는 136.80km²이고 유로연장은 23.2km이다. 하천의 형상은 대체적으로 수지상이라 할 수 있으며 유로가 산지부를 통과할 때는 대체로 사행이 심하고 하상경사가 급하여 유속이 빠른 편이다. 또한 삼척 오십천은 해발 1,000m 이상의 태백산맥에서 발원 동해안으로 유입되는 하천으로 유역전체가 험준하고 경사가 급한 편이다.

본 연구의 대상지인 도계 유역은 오십천 유역의 상류에 위치하고 대부분이 산간지로 되어 있으므로 강우에 따른 유출량은 유역 지형량에 크게 의존하며 하천 차수 분할에도 민감한 반응을 보일 것으로 예상된다.

4.2 유역정보 추출

수치 지도를 이용하여 강우에 따른 유출 과정을 모의하기 위해서는 복잡한 전처리 과정을 유역의 물리적인 유출 영향 인자를 산정할 필요가 있다. 일반적으로 정도가 높은 수문해석을 위해서는 표고 데이터를 직접 이용하여 DEM유출모형을 적용하는 것이 편리하지만 본 유역은 현재 1/25,000 CAD 수치지도를 제공하고 있으므로 이로부터 등고선, 표고점, 수준점 등 유출에 관한 레이어를 추출하여 유출 DEM을 구축하였다. 전처리의 주요 과정을 살펴보면, 그림 7은 대상 유역인

삼척 오십천 유역에 대하여 수치지도(CAD)로부터 등고선 레이어를 추출한 것이며 그림 8은 불규칙 삼각망(TIN)을 나타내고 있다. 그림 9는 filling 과정, flow direction 과정, flow accumulation 과정 등을 통하여 형성된 소유역별 폴리곤을 나타내며 그림 10은 본 연구의 대상 유역인 삼척 오십천의 도계 유역을 나타내고 있다. 등고선으로 DEM을 구축하는 경우 그림 10과 같이 어느 소유역으로도 포함되는 않는 잔류유역(residual basin)이 발생하게 되는데 잔류유역을 고려하지 않는 경우 전체 유역이 과소평가 되므로 유출량에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 경우 잔류유역은 구배가 낮은 소유역으로 편입시켜 유출량이 합산되도록 하였다.

4.3 유출 모형에 의한 홍수량

강우에 따른 유출량의 정확도를 높이기 위해서는 우선 그 유역을 대표할 수 있는 강우량의 선정이 무엇보다 중요하다. 현재 하천의 설계 강우량 결정은 다양한

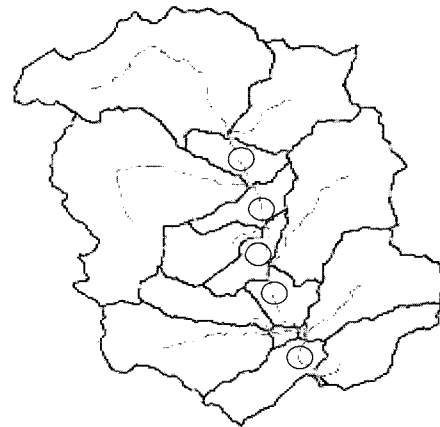


그림 10. 대상 유역의 추출 및 잔류유역(O 마크)



그림 7. 등고선 레이어 추출

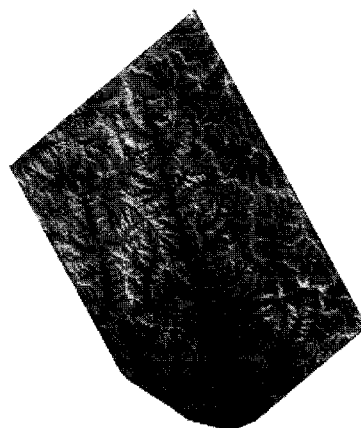


그림 8. TIN 형성

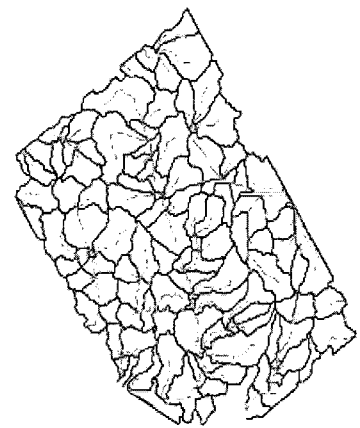


그림 9. 소 유역별 유역도 추출

방법을 통해 이루어지는데 일반적으로 기상청에서 제공되는 관측 강우량을 기준으로 결정하게 되는 것이 통상적이다.

오십천을 포함한 삼척시 관내의 강우량 관측은 1971년 근덕면에 위치한 관측소에서 농업기상관측을 주목적으로 실시하여 1992년에 자동기상관측시스템(AWS, Automatic Weather System)으로 관측, 전환하였으나 1995년에 기상관측이 종료되어 1992년부터는 동해기상대에서 기초 자료를 축적하여 그 역할을 담당하게 되었다(최 중인 외, 2003). 그러나 동해기상대는 유역 하류의 평지에 위치하고 있어 고도 차이에서 발생하는 산지 하천의 강우 특성을 반영하지 못하므로 도계 읍사무소에 설치되어 자료를 축적하고 있는 강우 자료를 이용하였으며 본 강우관측소에 의한 강우 특성은 표 5에 나타낸 바와 같이 루사 당시의 강우 지속시간은 24시간이었고 1시간 강우강도는 47mm/hr, 첨두유량에 큰 영향을 미치는 3시간 최대 강우강도는 111mm/hr로 나타났다.

표 5. 도계유역 태풍 루사의 강우 특성

구분	지속시간	1시간최대 강우강도	3시간최대 강우강도	누가 강우량
단위	(hr)	(mm/hr)	(mm/hr)	(mm)
루사	24	47	111	349

도계 관측소에서 관측된 태풍 루사 당시 강우량을 입력하여 유량 수문 곡선(discharge hydrograph)의 특징을 검토한 결과 유역 전체를 하나의 유출장으로 한 4차 하천은 그림 11과 같이 완만한 강우 응답을 보였으나 하천 차수법칙에 의해 소유역 분할 개수가 증가함에 따라 수문 유출 곡선은 급격한 형태를 나타냈다.

또한 소유역 분할에 따른 첨두유량 및 홍수도달 시간은 그림 12 및 그림 13에 나타낸 바와 같이 첨두유량은 완만하게 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며 홍수도달시간은 소유역 분할 수 4개인 3차 하천에서는 급격하게 빨라지다가 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다.

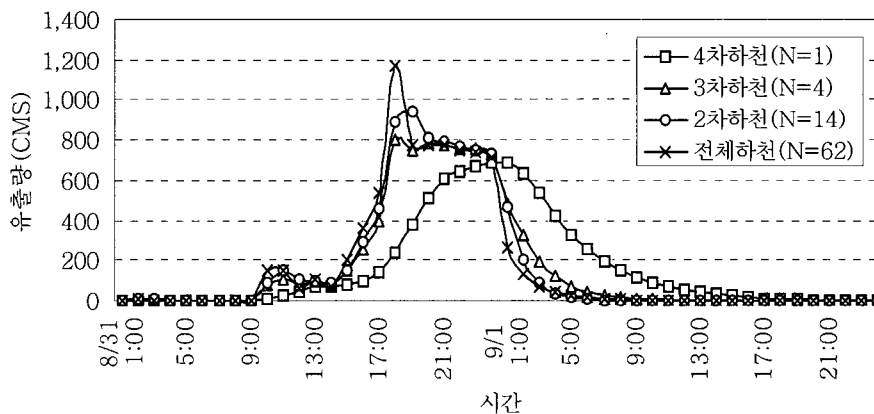


그림 11. 2002년 루사 당시 유량 수문곡선

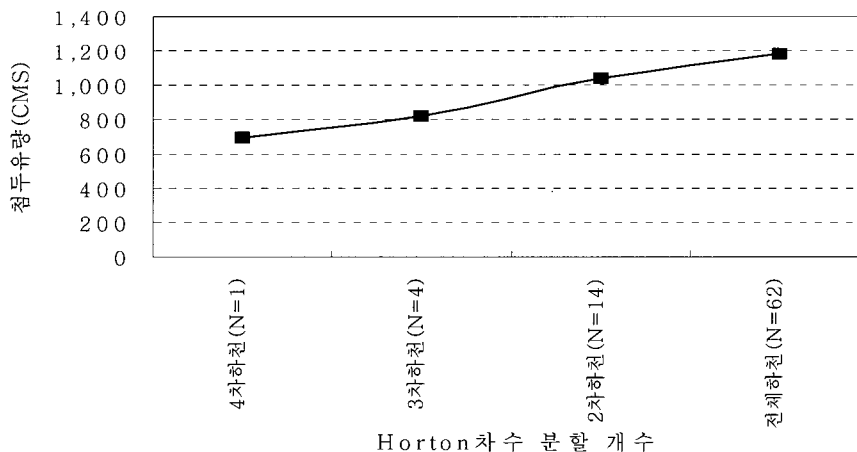


그림 12. 소유역 분할에 따른 첨두유량 변화(루사)

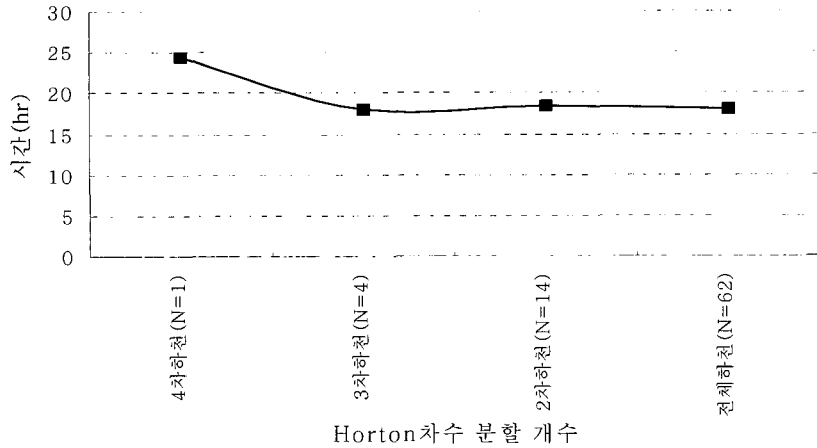


그림 13. 유역분할에 따른 홍수도달시간 변화(루사)

4.4 관측 유량

현재 삼척 오십천은 오십천 교에서 수위를 관측하고 있지만 이 수위를 유량으로 환산하는 수위유량 곡선은 3종류가 있다. 이 중에서 루사 당시 최고 수위에 근접하는 식은 다음과 같다.

$$Q = 59.350 \times (H - 1.50)^{1.646} \quad (2.54 \leq H \leq 6.75m) \quad (8)$$

여기서, Q는 침투유량(m³/s), H는 하천 수위(m)
태풍 루사에 의한 홍수 당시 인근 주민의 전수조사

및 홍수 흔적선을 토대로 조사한 결과 그림 14와 같이 최고 홍수위는 약 8.7m에 도달한 것으로 나타났으며 이를 도계 유역에 대한 침투 유량의 환산치로 보면, 기존 수위-유량곡선의 실측 범위가 6.75m로 다소 오차가 발생할 수 있으나 개략적으로 1,181CMS로 계산되었으며 이 값은 표 6에 나타낸 바와 같이 Horton의 1차 하천으로 분류하여 계산한 값과 근사한 것으로 계산되었고 동 지점에 대해 1992년에 작성된 하천정비 기본 계획(50년 확률빈도)에 의한 877CMS보다는 높게 계산되었다.



그림 14. 태풍 루사에 따른 홍수 흔적선(굵은 실선)

표 6. 삼척 도계유역의 적용방법별 침투유량

종류	차수별 소유역 분할 수(N) -Clark유역추적법적용-				관측유량
	4차 (1)	3차 (4)	2차 (14)	1차 (62)	
루사 당시 유출량 (CMS)	691	816	1,035	1,176	1,181

* 하천정비 기본계획에 의한 홍수량(50년 빈도): 877CMS

5. 결 론

종래의 GIS를 이용한 강우 유출 모형은 적용상의 용이성으로 인하여 격자형 모형(Grid based model)이 주로 연구되어 왔다. 그러나 이는 유역의 초과 홍수의 대응에 있어서 유역의 형상을 표현하는 데는 효과적이지 않다는 인식으로부터 본 연구에서는 오십천 상류 도계 유역을 대상으로 Horton이 제안한 하천 차수법칙의 개념을 도입하여 소유역별 분할 정도에 따라 유출에 미치는 영향에 대해 검토하고자 하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 도계 관측소에서 관측된 태풍 루사 따른 강우량을 적용하여 Horton 차수법칙에 의한 소유역 분할 정도에 따른 유출 수문 곡선의 특징을 검토한 결과 유역 전체를 하나의 유출장으로 한 4차 하천에서는 완만한 강우 응답을 보였으나 소유역 분할 개수가 증가함에 따라 수문 유출 곡선은 급격한 증가 형태를 나타냈다.
- 2) 소유역 분할에 따른 첨두유량은 완만하게 증가하는 경향을 나타내었으며 홍수도달 시간은 소유역 분할 수 4개인 3차 하천에는 급격히 빨라지다가 이후에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.
- 3) 본 유역의 홍수흔적선에 의한 관측유량의 환산치는 1,181CMS로 계산되었으며 이는 1차 하천으로 분류하여 계산한 유출량 1,176CMS에 근접한 값이며 동일 지점에 대해 1992년에 작성된 하천정비 기본계획(50년 확률빈도)에 의한 877CMS보다는 높게 계산되었다.

이상의 검토로부터 Horton의 차수법칙에 따른 소유역별 분할 개수가 증가함에 따라 첨두유량은 일정하게 증가하는 경향이 있으나 이에 따른 홍수도달시간은 분할 개수 4개(3차하천)까지는 급격하게 단축되었으나 그 이상의 분할에는 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 유역 전체를 하나의 유출장으로 하는 집중형 모형인 경우는 하도장, 유역면적, 유역구배와 같은 지형량을 평균화한 것에 비하여 소유역별 분할 방법은 각각의 지형량을 유출계산에 반영하므로 민감한 유출 응답 특성을 보이는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 김경탁, 최윤석 (2003) 유역분할에 따른 유출응답에 관한 연구. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 36권, 제6호, pp.911-924.
- 김성준 (2002) 수자원관리에서 분포형 수문모델링의 역할. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제35권, 제2호, pp. 45-56.
- 김성준 (2002) 분포형 수문모델의 구축, 보정 및 검증. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 35권, 제4호, pp. 55-65.
- 배덕효, 김진훈 (2005) 준분포형 TOPMODEL개발. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38권, 제10호, pp. 895-906.
- 안상진, 윤석환 (2005) ModClark모형을 이용한 유출해석. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38권, 제3호, pp. 245-257.
- 정중호, 윤용남 (2003) 수자원 설계 실무. 구미서관.
- 최종인, 강상혁 (2003) 태풍 루사·매미에 의한 오십천 홍수유출 특성과 피해 저감방안, 연구보고서, 삼척대학교 소방방재연구소.
- 최현상, 한건연 (2004) GIS와 불확실도 해석기법을 이용한 분포형 강우-유출모형의 개발(I)-이론 및 모형의 개발-. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제4호, pp. 329-339.
- 최현상, 한건연 (2004) GIS와 불확실도 해석기법을 이용한 분포형 강우-유출모형의 개발(II)-적용 및 분석-. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제4호, pp. 341-352.
- Ao, T., Takeuchi, K., and Ishidaira, H. (2001) *On the method of generating artificial stream networks of large river basins and its effect on runoff simulation*, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 45, No. 45, pp.139-144.
- Band, L.E. (1986) *Topographic partition of watersheds with digital elevation models*, Water resources research, Vol.22, No.1, pp.15-24.
- Cabral, M.C. and Burges, S. (1994) *Digital elevation model networks(DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas*, Water resources research, Vol.27, No.6, pp .1177-1191.
- Fairfield, J. and Leymarie, P. (1991) *Drainage networks from grid digital elevation models*, Water resources research, Vol.27, No.5, pp.

- 709-717.
- Fujita A., Daitou, H., and Ichigawa, Y. (2001) *A real time dam inflow prediction system based on distributed rainfall runoff model*, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 45, No. 45, pp.115-120.
- Lu, M., Koeke T., and Hayakawa, N. (1989) *A rainfall-runoff model using distributed data of radar rain and altitude*, JSCE, Vol. 41(II-12), pp.135-142.
- Moore, D.I. (1991) *Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data*, Water resources research, Vol.27, No.6, pp.1177-1191.
- Noguchi, M., Nishida, W. and Mizuno, Y. (2000) *Prediction of nitrogenous pollutant runoff due to stormwater.*, International symposium of integrated environmental management, Nagasaki University and Kangwon National University.
- Noguchi, M., Nishida W., Kang, S. H., Mizuno, Y., and Yashiro, M. (2001) *Pollutant runoff mechanism from watershed under the rain condition and its modeling*, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 45, No. 45, pp.61-66.
- Pradhan, N., Tachikawa, Y., and Takara, K. (2004) *Development of scale invariant physically based hydrological model: scale invariant TOPMODEL*, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.47(B-2), pp.253-272.
- Qiang L., Tamai N., and Huang G. (1999) *A grid-based stream-structure model for large-scale watershed*, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 45, No. 43, pp.19-23.
- Strahler, A.N. (1952) *Hypsometric analysis of erosional topography*, Bulletin of the geological society of America, Vol.63, pp.1117-1142.
- Zhang, W. and Montgomery, D.R (1994) *Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations*, Water resources research, Vol.30, No.4, pp. 1019-1028.
- 市川 濫 之 (1996) 地形特性和 状態量の 時間的 分布를 考慮한 流出系 模型의 擴張, 京都大學 防災研究所 年報, 第 39 號(B-2), pp.399-414.
- 立川 康人 之 (2003) 分布型 洪水流出 模型에 있어서 空間分布 入力情報의 有效性 平價, 京都大學 防災研究所 年報, 第 46 號(B-2), pp.1-16.
- 中北 英一 之 (2000) 降雨場의 地形依存性에 관한 基礎的 研究, 京都大學 防災研究所 年報, 第 43 號(B-2), pp. 117-136.

© 논문접수일 : 2005년 10월 13일

© 심사의뢰일 : 2005년 10월 18일

© 심사완료일 : 2005년 11월 30일