

## 유역 상류지역의 개발이 유출에 미치는 영향에 관한 연구

강상혁\* · 김정남\*\*

### A Study on the Impact of Runoff Discharge by Developing in Upper Area

Sang-Hyeok Kang\* · Kyoung-Nam Kim\*\*

#### 요 약

강원도 지역은 매년 다양한 재해를 반복적으로 겪고 있으며 이러한 재해는 이 지역의 지속적인 발전에 장애요인이 되고 있다. 특히 2002년 태풍 루사에 의한 집중호우는 막대한 피해와 더불어 우리사회의 많은 교훈을 남겼다. 지역방재계획에는 강우사상에 따른 피난계획이 수립되어 있으나 실제 상황에서는 그 역할을 기대할 수 없었다. 또한 재해복구에 있어서도 원상복구에 그치고 있어 재해에 대한 잠재적 가능성을 그대로 남아 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유역의 개발이 수문 유출에 미치는 영향에 대해 종합적으로 고찰하고자 한다.

주요어 : 태풍루사, 상류개발, 수문유출

**ABSTRACT** : Kangwon province has been suffering from the various types of disasters and these disasters stand in the way to sustainable development. The heavy rainfall by typhoon RUSA in 2002 damaged to property and bodily injury, and gave us a lesson. Even if the refuge activities plan by local government plan for disaster were established with rainfall event, it could not its role in practice. Beside it, the potential disaster risk remains still in existence because the disaster restoration work aims to original state. Therefore, in this study we focused on the point at issue of developing in upper area and its impact on discharge hydrograph.

**Keywords** : typhoon RUSA, development of upper areas, discharge hydrograph

---

\*주저자, 강원도립대학 강사  
\*\*강원발전연구원 책임연구원

## 1. 서 론

강원도는 태풍, 홍수, 산불에 의한 대규모 피해가 반복되는 등 자연재해의 잠재적 발생가능성이 높은 특징을 지니고 있다. 이러한 재해소인외에 강원도내에는 인위적 활동에 의한 재해 소인이 확대된 지역이 곳곳에 분포하고 있는 실정이다. 이러한 지역들은 최근 수년간의 태풍 및 집중호우 등의 재해유인 발생에 따라 대규모 피해가 발생하고 있는 실정으로서 이들 지역을 사례로 한 재해 위험의 예측을 위한 수문유출 기구의 해석 기법의 개발이 필요한 실정이다. 따라서 산지개발 의한 지형변화로 인한 수문유출 기구의 해석을 위해 강원도 동해시 삼화동을 대상으로 유출기구 변화를 해석하고자한다. 본 연구의 대상지역인 강원도 동해시 삼화동 일대는 지+형적·사회적인 요인으로 인하여 3차적 산업보다는 대규모 석회석 채굴에 의한 지형개변과 산업시설 종사자의 급증으로 인한 대규모 토지이용 변화 등 자연 자원을 이용한 1차적 산업성격의 산업구조를 가지고 있다. 따라서 급격한 도시화의 진행 및 생활기반의 변화가 심한 사회구조를 가지며 이러한 이유로 이 지역의 방재력 또한 상대적으로 저하되었다고 추정된다.

이와 같은 과정 하에서 강원도 지역은 2000년 동해안 대규모 산불발생에 이어 2002년 8월 태풍 루사에 의한 집중호우에 의해 토사·토석류가 대량 발생하여 인명 피해 178명(사망 143명, 부상 35명), 주택 22,920동 손상(전파 1720동, 반파 2503동,

침수 18697동), 이재민은 22,920 가구에 72,660명 등 총 피해액 2조 5305억원으로, 재해 이전 수준으로 원상 복구하는 데만 3조 1233억원이 소요되는 막대한 피해를 입었다(김영택, 2002; 동해시, 2003). 또한 태풍 루사에 의한 피해는 도시의 고립화, 도시 기능의 마비, 피해의 장기화, 피해지역의 확대 및 지역 사회 전체에 재해의 영향이 미치는 등 우리가 지금까지 경험하지 못한 상황에 이르게 되었다. 최근 빈발하는 재해의 원인으로서는 (1)국소적인 집중호의 증가 (2)인구 및 자산의 하천 하류부에서의 집중 (3)유역 상류지역의 지속적인 개발 (4)하수의 배제불량 등이 있으며 궁극적인 재해의 발생은 하나의 요인에 의해 발생하기보다는 다양한 요인으로서 결부되어 일어나는 이른 바 복합재해의 성격이 강하다(Ushiyama M., et al., 2002; 高崎 忠勝외, 2006). 이 중 유출에 직접적으로 영향을 미치는 지형적인 요인으로는 유역 상류지역의 개발을 들 수 있는데 수문인자를 도출하는 기법으로는 DEM 기반의 수문지형분석은 전통적 방식의 정성적 지형분석과 시스템 기반의 정량적 분석(Moore 등; 1988, Davie; 1994, 김 등; 1999, Mitasova; 1995, 水越과 安仁; 2000)으로 구분할 수 있으며, 이들 연구들은 중소지형을 미지형 단위로 구분하여 지형발달 과정에서의 지표수 작용을 중심으로 분석하였다. 이들 연구의 특징은 구릉지와 하천을 미지형 단위로 구분함으로써 각 미지형 단위에서 발생하는 지표발달 작용의 빈도와 강도를 고려하여 지형을 이용할 수 있도록 지원하고 있다. 北川(1991)은 DTM에 의한 산지의 지형계측

과 그 정도를 분석하기 위해 고밀도 DTM을 작성하여 산지유역의 구조해석법을 개발하였고, 연구결과에 따르면 유로 추적, reach 구분, 하천차수 결정, reach numbering, 소유역 분할에 매우 효과적인 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 이러한 기법을 일부 도입하여 강원도 동해시 삼화동 지역을 대상으로 상류지역의 지속적인 개발이 유출 전반에 미치는 영향에 대해 고찰하기로 한다.

## 2. 연구 대상지역의 현황

연구 대상지인 동해시 삼화동 석회석 채석지는 소하천인 무릉천 상류에 위치해 있다. 연간 석회석 채광은 1,529만톤으로 국내 최대 생산능력을 가지고 있으며 1967년부터 개발하여 30여년 이상을 채광하고 있으며 2010년을 전후로 하여 채광이 완료될 예정이다. 채석 방식을 계단식이며 채석 후는 대부분 나대지로 남아 있어 강우시 유출량에 영향을 미칠 수 있다.

## 3. 유역 정보의 추출

### 3.1 수문지형정보의 추출

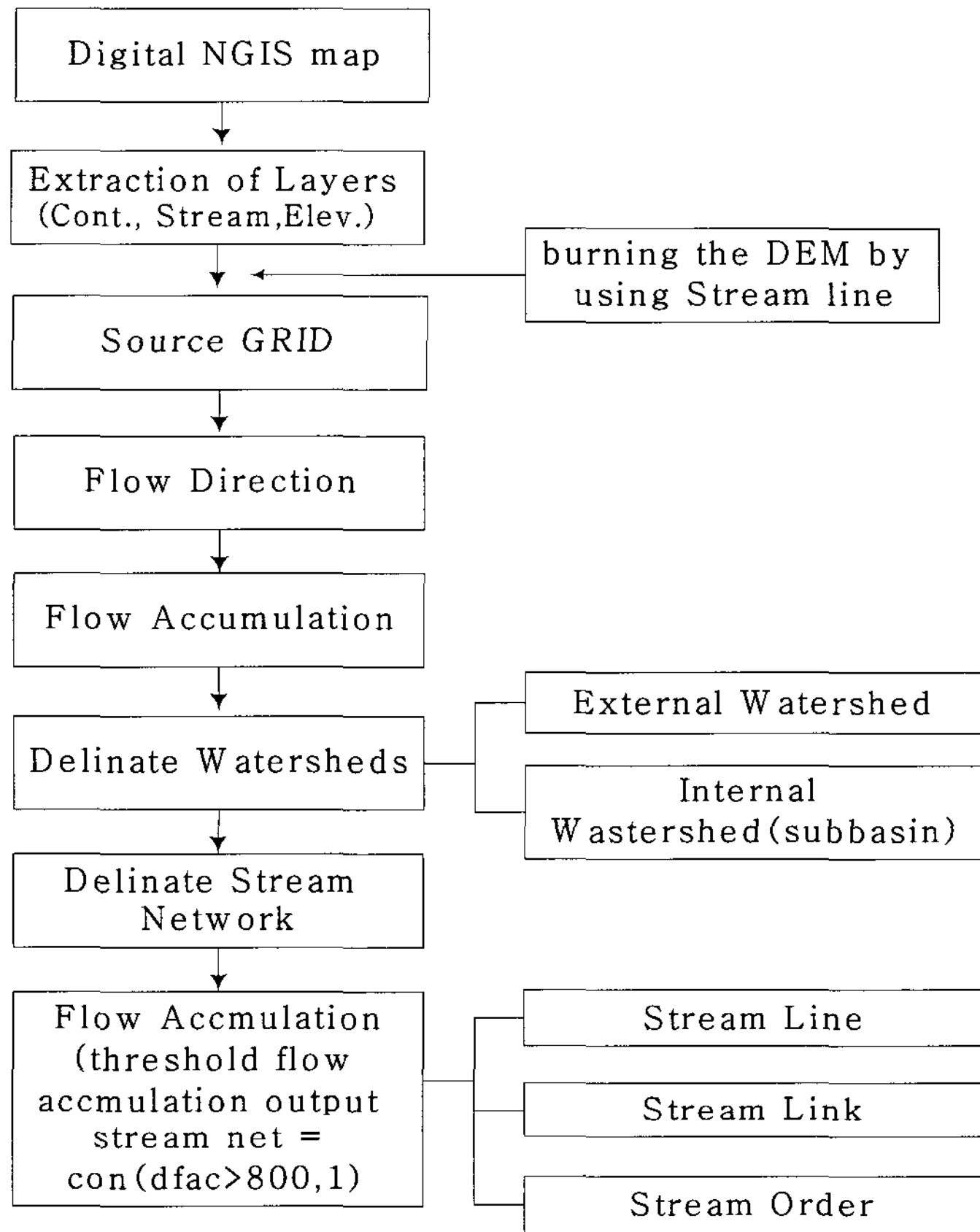
강우에 따른 유출 해석을 위해서는 수문 모형에 필요한 각종 유역 인자의 도출이 필요하다. 본 연구에서 30년간의 채광 개발 자료는 기존의 지형도에서 수계가

변하기 전의 DEM을 가정하였고 30년 후의 자료는 개발로 인하여 수계가 변한 상태를 항공 사진을 통하여 판독하였다.

유역의 수문자료를 구하기 위해 1:25000 수치지도 2도엽으로부터 수계망 (2112), 표고점(7127), 등고선(7111, 7114)을 추출하여 ArcGIS 9.0의 GRID 모듈을 이용하여 30×30m DEM을 생성하였다. 생성된 DEM으로부터 수계망을 유역을 추출하기 위한 전처리로서 sink & peak 보정을 실시하고 흐름방향과 흐름누적 cell 수에 근거하여 소유역을 구획하였으며 전반적인 수문정보의 추출과정은 [그림 1]과 같다.

또한 입지적 특성으로 인해 잦은 침수가 발생하는 삼화교 인근을 유출 기준점으로 가정하여 무릉천 수계도를 추출하고 이 수계도를 바탕으로 무릉천 수계의 소유역을 절출하였다. 채석전 무릉천 유역내 소유역은 모두 45개로 구성되었으며 평균 면적은 0.89ha로서 평균 산지 소유역보다 작게 구획되었다. 소유역 추출결과 주 유로를 중심으로 잔류유역이 발생하였고 무릉천 수계의 외곽 경계선을 구성하는 상류유역의 소유역이 비교적 점유면적이 큰 소유역으로 분포하는 등 전형적인 산지지형 특성을 나타내고 있다. 유역내 수계는 지방2급하천까지는 건교부의 국가공통 수계도를 사용하였고 산지 소하천의 경우에는 GRID 모듈을 이용한 하천망 추출을 실시하고 무릉천 유역도를 이용하여 masking 하였다.

추출된 유역도와 수계도를 이용하여 연구대상지역의 공간 수문지형정보 자료를 구축하였다. 또한 수문모형을 이용하여 강우-유출을 모의하기 위해 필요한 매개



[그림 1] NGIS 자료를 이용한 수문지형정보 추출 절차

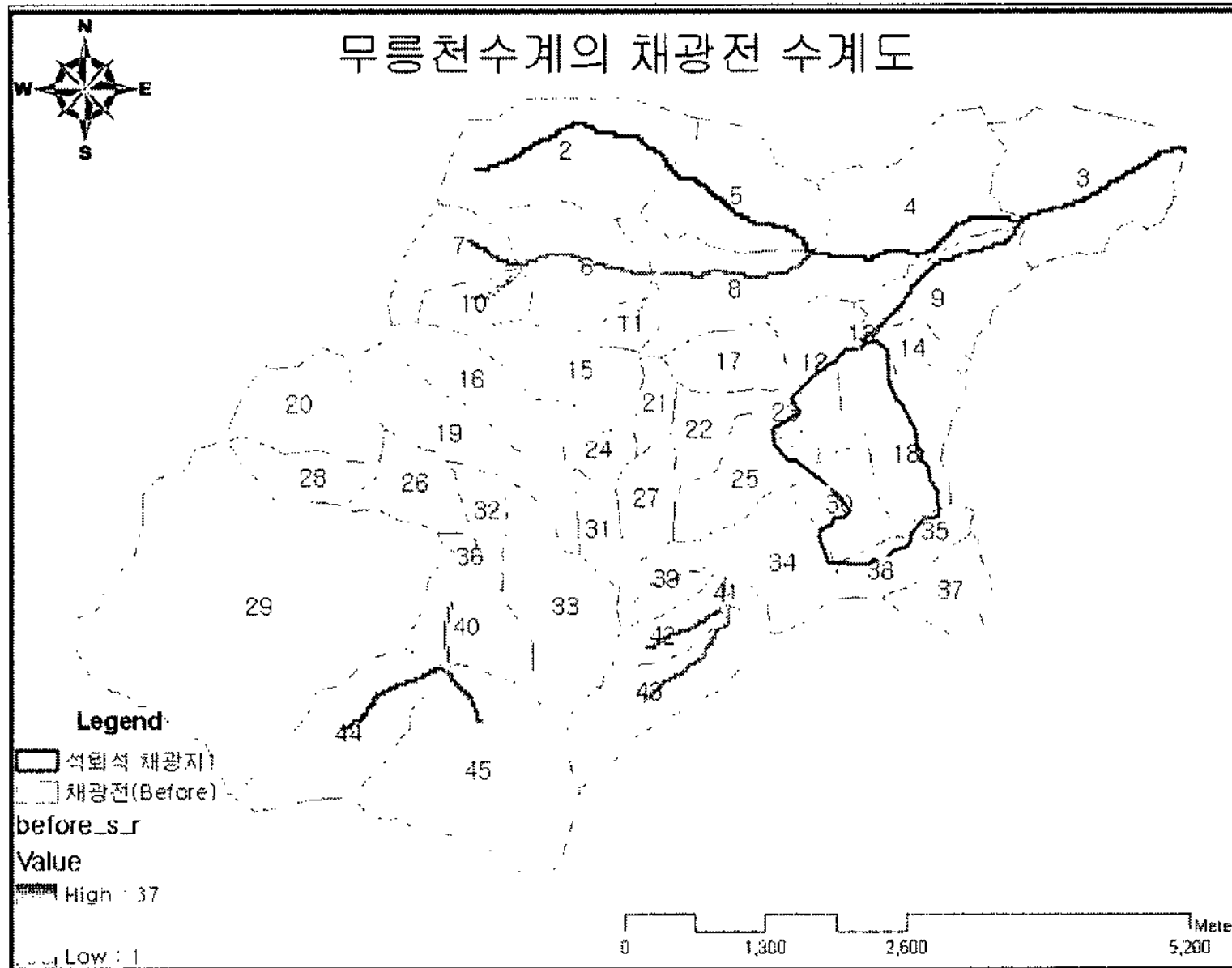
변수들은 소유역별 유역면적, 하천의 길이, 최장수로의 경사, 하상경사 등을 산출하였다. 이와 같은 과정을 수행하여 유역 처리 과정을 단계별로 유역 모델을 구성하는 중요 단계를 [그림 2~3]에 나타내었다.

### 3.2 항공사진 판독에 의한 채석지 추출

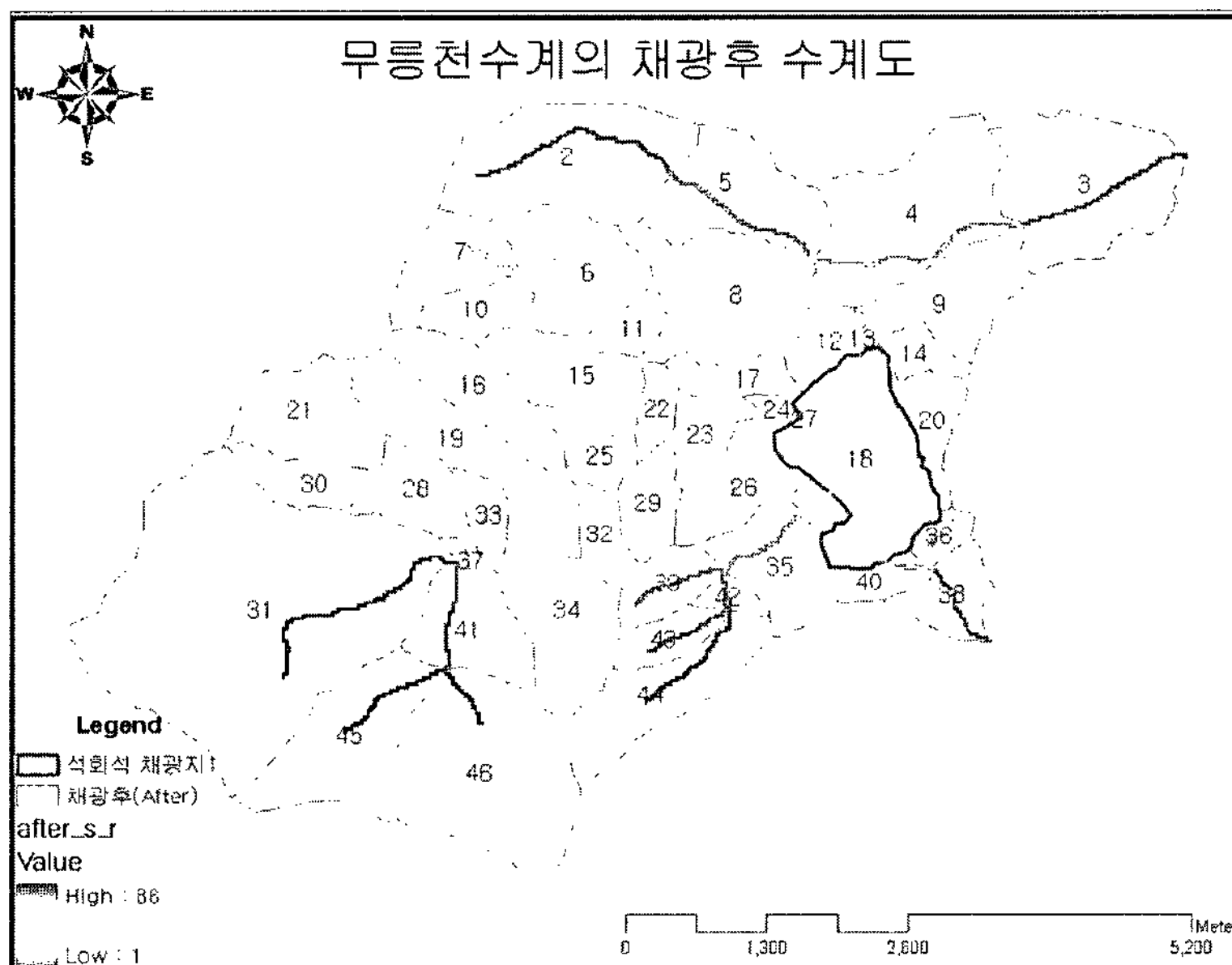
산지의 개발에 의한 수문 유출특성 변화를 분석하기 위해서는 해당지역의 산지 개발 현황을 파악하여야 하나 현장 접근

성, 자료취득의 한계 및 자료공개의 한계 등으로 인하여 실질적인 현장 자료를 파악하는 것은 곤란하다. 이 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 정사항공사진을 제작하고 이 사진으로부터 삼화동의 산지현황 유형인 채석지의 위치와 면적을 파악하였다.

사용된 항공사진은 2002년에 촬영된 1/15000 축척의 흑백적외선 필름(카메라 RC20, 초점거리 153.57mm)을 사용하여 촬영된 항공사진으로서 Erdas Imagine 8.5 Ortho-base module를 활용하여 3장의 항공



[그림 2] 채석 전 수계도



[그림 3] 채석 후 수계도

사진을 정사보정 하였다. 사용된 항공사진의 주요 제원을 정리하면 <표 1>과 같다. 정사보정에 사용된 DEM은 1/25000 수치

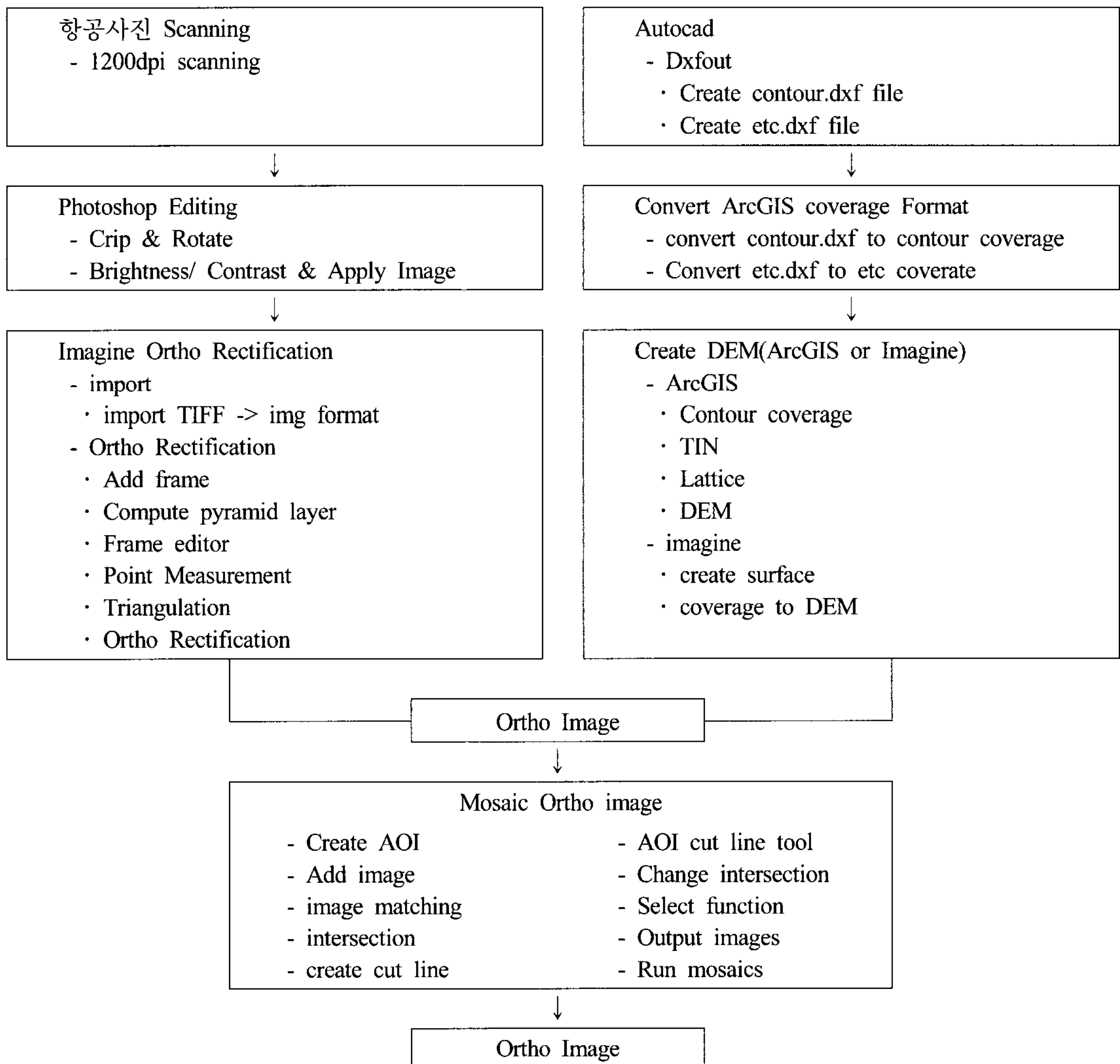
지형도를 활용하여 제작하였고, 지상기준점의 추출은 해당지역이 산지이어서 현저한 지형지물이 존재하지 않았기 때문에

<표 1> 사용된 항공사진 및 스캐너 제원

사진축척	1/15,000
비행고도(m)	2,303
촬영시기	2002년 4월
카메라 초점 거리(mm)	153.57
필름 타입	흑백적외선필름
스캐너	Z/I Imaging, Photoscan 2002
사진기선거리(cm)	9.5

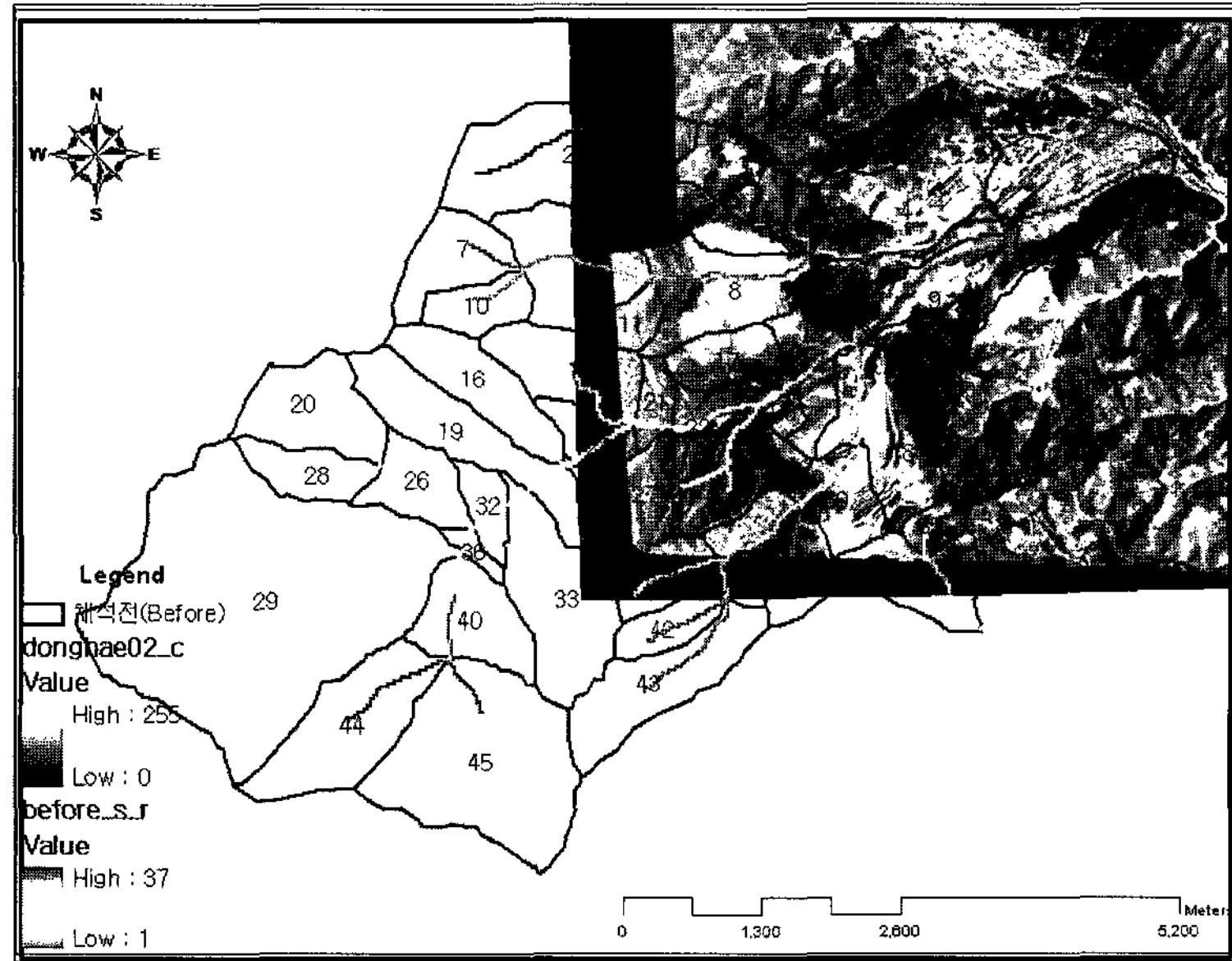
조사대상 지내에 분포한 철탑의 위치를 이용하여 수치지형도로부터 취득하였다. 이러한 처리과정을 정리하면 [그림 4]와 같다.

제작된 정사항공사진으로부터 책석지를 분석하기 위해 먼저 밀착인화된 항공사진을 입체시하여 책석지 현황을 파악하였고 기 파악된 정보를 토대로 책석지 1개소에

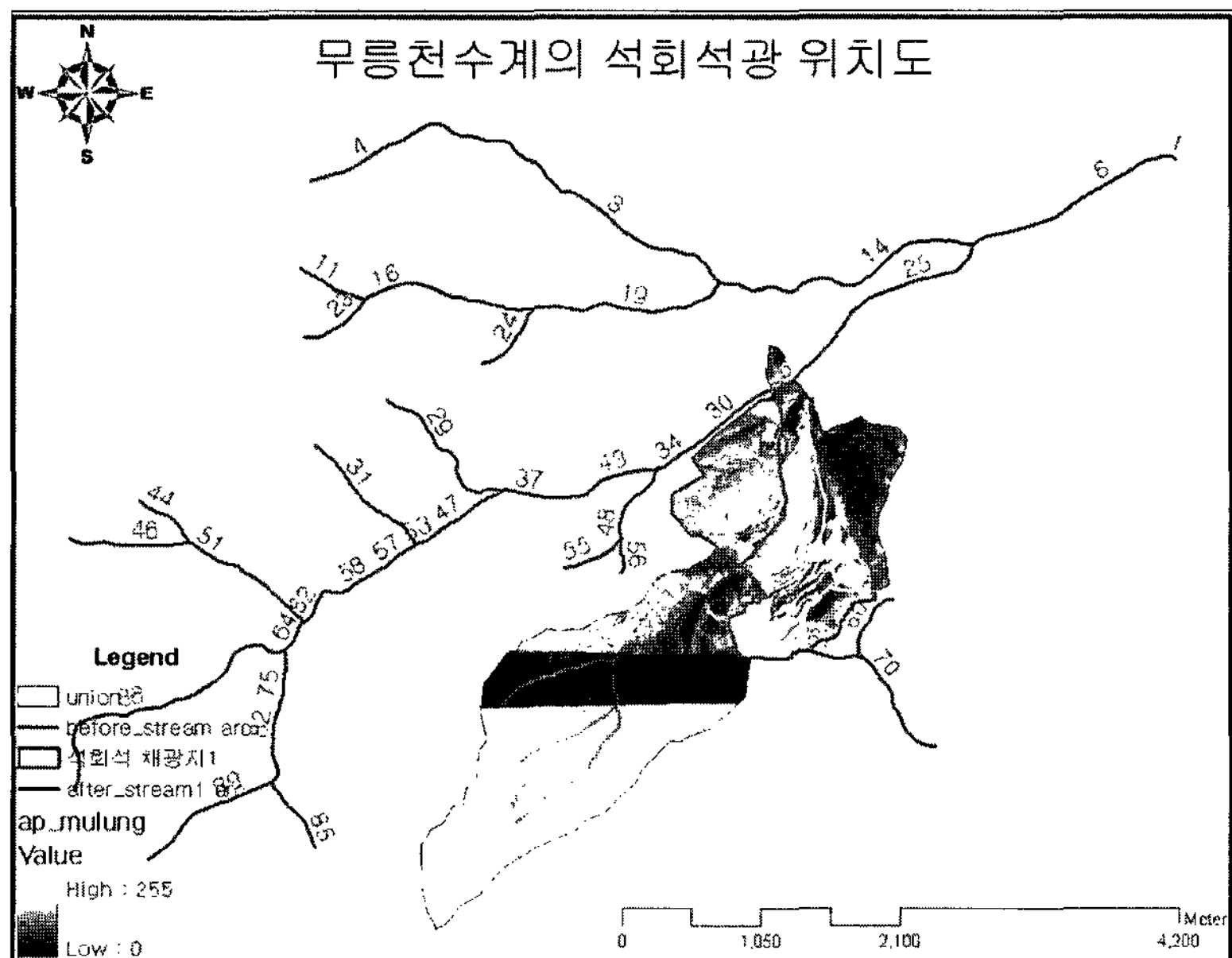


[그림 4] 항공사진을 이용한 정사영상 제작 절차

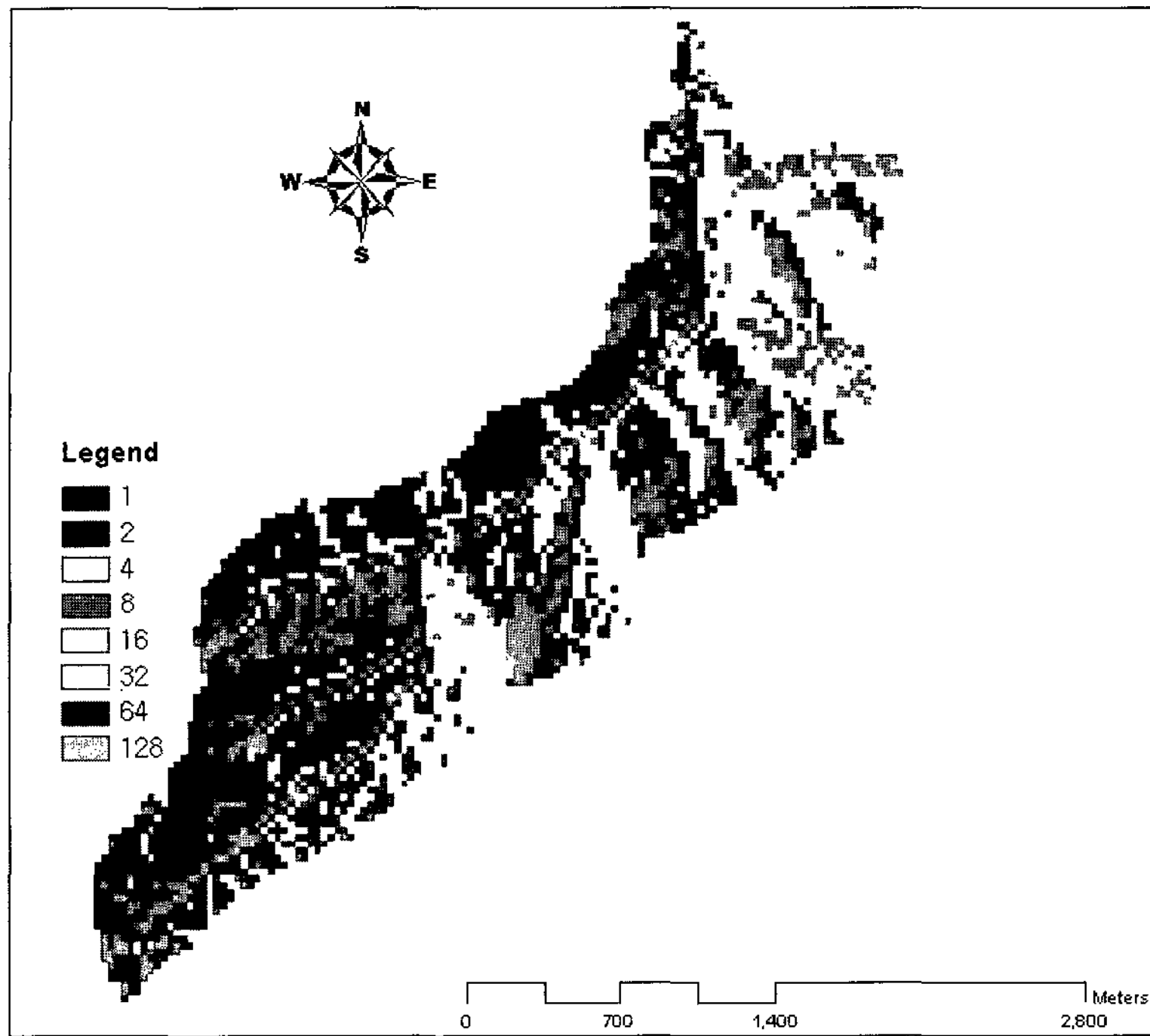
대한 분석과 벡터 데이터를 생성하였다. 6]과 같으며 최급 구배에 따른 생성된 채석지 현황은 [그림 5] 및 [그림 6]을 표시하면 [그림 7]과 같다.



[그림 5] 무릉천 수계의 정사보정된 항공사진



[그림 6] 채석지 위치



[그림 7] 최급구배에 따른 물 흐름도

#### 4. 홍수유출 계산

용하여 사면류 정수를 구한다.

##### 4.1 특성 방정식과에 의한 홍수추적

$$\alpha = \frac{\sqrt{i}}{N}, m = \frac{5}{3} \quad (3)$$

사면류에 관한 kinematic wave법의 기초 식은 다음과 같다.

여기서  $i$ 는 사면구배,  
 $N$ 은 사면의 등가조도계수

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (0 \leq x \leq L) \quad (1)$$

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

식 (1)은 식 (2)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{dq}{dh} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = m \alpha h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = r_e$$

여기서  $t$ 는 시간,  $x$ 는 사면 상류단으로부터의 거리,  $h$ 는 수심,  $q$ 는 사면의 단위 폭당 유량,  $r_e$ 는 유효강우,  $L$ 은 사면장,  $\alpha, m$ 은 각각 흐름의 형상을 결정하는 계수로써 다음의 Manning의 저항법칙을 이

상기의 특성 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dx}{m \alpha h^{m-1}} = \frac{dt}{1} = \frac{dh}{r_e} \quad (4)$$



$r_e \neq 0$ 일 경우, 식 (4)는 이하의 3개 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dx}{dt} = m\alpha h^{m-1} \quad (5)$$

$$r_e dt = dh \quad (6)$$

$$r_e dx = m\alpha h^{m-1} dh = dq \quad (7)$$

$r_e = 0$ 의 경우는 식 (5)만 성립한다. 이들 식(4) 또는 식 (5)-(7)로 표현되는 특성곡선을 시간 간격  $\Delta t$ 로 다음과 같이 차분화한다.

$r_e \neq 0$ 일 경우, 식 (6), (7)로부터

$$r_{ej}\Delta t = h_j - h_{j-1}$$

$r_{ej}\Delta x_j = q_j - q_{j-1}$ 가 얻어진다. 여기서  $j-1$ 는 시점을 나타내며 대상이 되는 우수류가 사면 상류단을 출발해서부터의 경과시간을 나타낸다.  $\Delta x_j$ 는 대상이 되는 특성 곡선상에서 시점  $j-1 \sim j$ 의  $\Delta t$ 시간 내에 우수류가 전파한 거리를 나타낸다.

상기 두 개 식을  $h_j$ ,  $q_j$ ,  $\Delta x_j$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} h_j &= h_{j-1} + r_{ej}\Delta t \\ q_j &= \alpha h_j^m = \alpha \{h_{j-1} + r_{ej}\Delta t\}^m \\ &= \alpha \left[ \left( \frac{q_{j-1}}{\alpha} \right)^{1/m} + r_{ej}\Delta t \right]^m \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Delta x_j = \frac{q_j - q_{j-1}}{r_{ej}} \quad (9)$$

$r_e = 0$ 의 경우 무강우 시는 수심  $h$  및  $q$ 에 변화하지 않으므로,

$$h_j = h_{j-1}, q_j = q_{j-1} \quad (10)$$

가 성립한다. 또한  $r_e = 0$ 의 경우 특성방정식 식 (5)만 성립하므로 이를 이용하여 다음 식이 얻어진다.

$$\Delta x_j = m\alpha h_j^{m-1} \Delta t = m\alpha^{1/m} q_j^{1-\frac{1}{m}} \Delta t \quad (11)$$

사면 상류단을 출발한 우수류의 시점  $j$ 에 있어서 전파거리  $X_j$ 는 식 (9) 또는 식 (11)을 이용하여 구해진  $\Delta x_j$ 를 다음과 같이 순차적으로 적산하여 구한다.

$$X_j = X_{j-1} + \Delta x_j \quad (12)$$

#### 4.2 사면 하류단 홍수류의 도착

어느 지점  $n$ 에서 누적 거리  $X_n$ 이 사면장  $L$ 을 초과하는 경우, 즉  $X_n > L$  또는  $X_{n-1} \leq L$ 이 된 경우에 해당된다. 이 경우 우수류는 시점  $n-1 \sim n$ 의 기간내에 사면 하류단에 도착해 있는 것이 된다.  $J=n-1$ 의 시점에 있어서 우수류의 선단과 하류단과의 거리  $\Delta x_e$ 는 다음과 같이 된다.

$$\Delta x_e = L - X_{n-1} \quad (13)$$

사면 하류단에 있어서 사면 단위폭당 유량을  $q_e$ , 시점  $n-1$ 로부터 우수류의 사면하류단까지의 도달 소요시간  $\Delta t_e$ 는 이  $\Delta x_e$ 를 이용하여 식 (8)-식 (11)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$r_{en} \neq 0$ 의 경우,

$$q_e = q_{n-1} + r_{en} \Delta x_e \quad (14)$$

$$\Delta t_e = \frac{h_e - h_{n-1}}{r_{en}} = \frac{1}{\alpha^{1/m} r_{en}} (q_e^{1/m} - q_{n-1}^{1/m}) \quad (15)$$

$r_{en} = 0$ 의 경우,

$$q_e = q_{n-1} \quad (16)$$

$$\Delta t_e = \frac{\Delta x_e}{m \alpha^{1/m} q_e^{1-\frac{1}{m}}} \quad (17)$$

따라서 이 우수류가 사면 상류단을 시각  $i$ 에 출발했다고 하면 사면 하류단에 도달하는 시각  $T_e$ 는 이하와 같이 된다.

$$T_e = (i+n-1)\Delta t + \Delta t_e \quad (18)$$

### 4.3 홍수 유출량의 계산

#### 4.3.1 전 유출량의 계산

유역의 상류지역이 개발되면 유역면적,

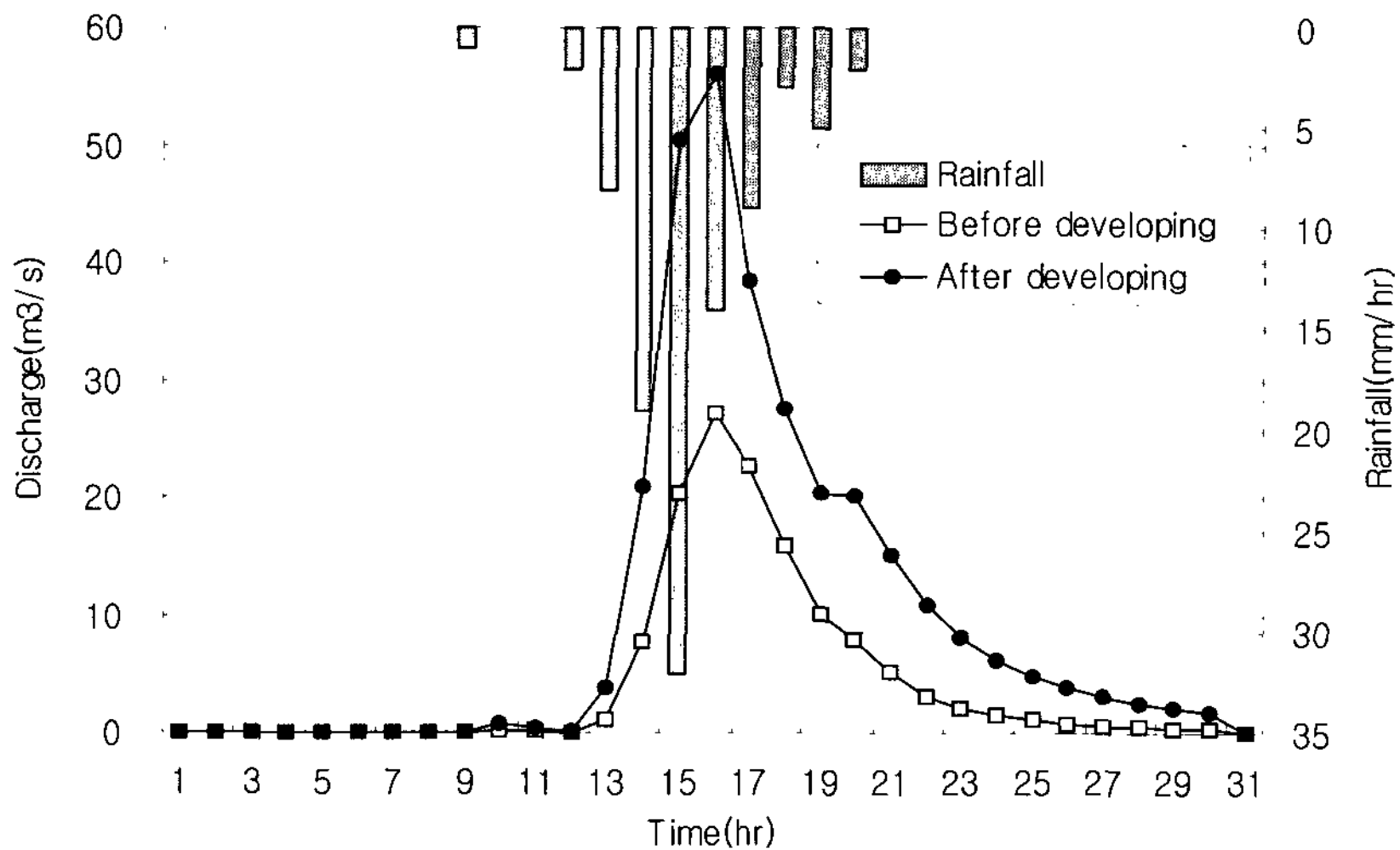
하상경사, 하도길이, 토지피복 정도 등 수문 유출에 영향을 미치는 유출인자가 변하게 된다. <표 2>는 이러한 유출인자 중에서 본 kinematic wave 유출모형의 입력 자료에 대한 개발 전, 후의 변화이다.

개발전 유역 면적은  $0.66\text{km}^2$ 이었으나 석회석 채석 후는  $1.20\text{km}^2$ 으로 유역면적이  $0.53\text{km}^2$ 증가한 것으로 분석되었으며 이를 토대로 유출 수문곡선을 계산하면 [그림 8]과 같다. 석회석 개발전 수문곡선은 완만한 증감현상을 나타내지만 석회석 채석에 따른 개발 후는 토지피복 상태의 변화에 의해 비교적 가파른 수문곡선을 나타내고 있다. 결국 자연지형, 토지피복은 강우시 급격한 유출을 막고 무강우시에도 서서히 유출되도록 유출 상황을 조절한다. 석회석 채석전의 계곡은 유출 조절 능력을 가지고 있지만 이 기능이 개발에 의해 악화되어 유출량 변화를 초래한다고 볼 수 있다. 상류의 자연 유역이 개발되면 전 유출량은 증가하지만 기저유출량은 감소한다. 본 연구의 경우 전 유출량은 43%, 침투유량은 48%증가한 것으로

<표 2> 개발 전, 후의 유역형상인자의 변화

유역번호	개발전			유역번호	개발후		
	면적(km <sup>2</sup> )	하상경사	하도길이(m)		면적(km <sup>2</sup> )	하상경사	하도길이(m)
43	0.56	0.33	1226	44	0.56	0.33	1226
42	0.18	0.30	824	43	0.18	0.30	824
41	0.08	0.29	356	42	0.08	0.29	356
39	0.23	0.29	890	39	0.23	0.29	890
34	0.45	0.20	978	35	0.44	0.30	978
30	0.30	0.20	811	36	0.09	0.2	551
18	0.66	0.20	1003	40	0.13	0.1	506
13	0.03	0.07	149	18	0.97	0.08	1814
계	2.48	0.23*	6,237	13	0.02	0.08	173
				계	2.71	0.22*	7,318

\*평균 하상경사



[그림 8] 유출계수의 증대에 따른 직접유출의 증가

조사되었는데 이러한 증가량은 그대로 방치하면 하천을 유하하여 바다로 유입되므로 무효한 유량이 된다.

#### 4.3.2 침투 유출량의 계산

침투유출량의 산정에는 다음과 같은 합리식을 일반적으로 쓰고 있다.

$$Q_p = 0.2778fr_tA \quad (19)$$

여기서  $f$ 은 유출계수,  $r_t$ 은 도달시간 내의 강우강도,  $A$ 는 유역면적으로 강우강도는 실측 강우를 적용하였다. 적용결과 개발 전에는  $4\text{m}^3/\text{sec}$ 였으나 석회석 개발 후에는  $9\text{m}^3/\text{sec}$ 로 38.8%가 증가한 것으로 계산되었다. 개발에 의해 생기는 유출증가량은 개발의 종류, 규모 등에 따라 다르므로 개개의 개발에 의해 산출할 필요가 있다. 개발전의 유출계수 0.4-0.6, 개

발 후를 0.5-0.8로 가정하여 강우강도 20-50mm/hr에 대한 유출량 계산 결과는 30-40% 증가하는 것으로 알려져 있다(角屋陸 외, 1972). 이러한 직접유출량의 증가는 홍수, 침수피해로써 사회문제를 일으키지만 기저유량의 감소에 의한 갈수는 사회문제가 되는 경우가 드물다. 특히 개발전 하류부에 농경지 등이 있다면 농업관개용수 부족의 문제가 있을 수 있다. 용수의 유황이 서서히 변화하고 있음에도 불구하고 문제가 되는 경우가 드문 이유는 관계주민이 유황변동의 과정에 대해 이해하고 있지 못한다거나 혹은 익숙해 있어 그 심각성을 인식하지 못하는 경우가 있겠지만 어느 경우에도 이수면에서 볼 때 사회적으로 큰 문제가 된다. 기저유량의 감소량을 산출하는 적절한 방법이 현재로서는 없지만 개발에 의해 생기는 직접유출량의 증가량을 기초로 하여 기저유량의 감량을 추산할 수 있다. 즉 직접

유출에 의해 기저유출로 변환하는 시점에서 감량 경향과 다음 강우에 의한 직접 유출의 발생사이에 어느 정도의 기저유량의 감량이 발생하는가를 추정하는 것이 된다. 이러한 문제는 기초자료가 축적되어야만 가능한 것으로 금후 진행되어야 할 과제로 남겨두기로 한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 동해시 무릉천을 대상으로 먼저 유역 상류의 석회석 채석에 따른 수문 유출 변화인자를 정량적으로 분석하여 이러한 유역 조건의 변화에 의해 유출 특성이 어떻게 변하는가에 대해 정량적으로 분석하였다. 그 결과 장기간(1967-2002년)에 걸친 석회석 채석지에 있어서 손실 유량의 변화는 불 투수면의 효과가 지배적인 것임을 시사하였고 그 해석법을 나타내었다. 또한 유역의 변화에 대해 수문 유출 곡선의 변화가 기저유출의 변화에 미치는 영향에 대해 검토하였다. 검토 결과 유역의 상류에 대한 개발에 따라 유출은 30-40% 증가하는 것으로 보고되고 있으나 본 연구에서는 38.8%가 증가하는 것으로 나타나 유역의 상유에 대한 개발이 하류의 유출량에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 또한 수문유출 곡선의 급격한 변화는 하천의 기저유량에도 영향을 있음을 지적하였다. 금후 기저유량에 대한 기초자료를 축적하여 상류지역의 개발이 기저유량의 감소에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다.

## 참고문헌

- 김경남. 1999. GIS와 SCS's RCN method를 이용한 임도개설지의 유출량 추정 기법의 개발. 1999년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구 발표회: 146-149.
- 김영택, 2002, 태풍루사로 인한 피해실태와 복구방향, 강원발전연구원.
- 동해시, 2003, 수해백서 중간보고서(2003, 8).
- David, A. E. 1994. A Geographic information system procedure to quantify drainage basin characteristics. *Water Resources Bull.* 30(1): 1-8.
- Mitasova Helena. 1995. Modeling Topographic Potential for Erosion and Deposition using GIS. *International Journal of GIS*: 1-19.
- Moore, I. D., 1988, A Contour-Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications, *Earth Survade Process and Landforms Vol. 13*, 305-320.
- Ushiyama M., et al., 2002, "Heavy rainfall disaster in the republic of Korea caused by typhoon 0215 from August 31 to September 1, 2002," *J. of Japan Society for Natural Disaster Science*, Vol. 21(3), pp. 299-309(in Japanese).
- 角屋陸 외, 1972, "丘陵地の 住宅開發に伴う流出變化の豫測(2)", 제 9회自然災害科學綜合シンポジウム論文集.
- 北川勝弘. 1991. 山岳林地域における地形解析に關する基礎的 研究. *名大演報* 11: 39-192.
- 水越博子·安仁屋政武. 2000. 數値等高線データを用いた斜面型の自動分類. *地形* 2(3): 307-328.
- 高崎 忠勝외, 2006, "都市 中小河川에 있어서 集中豪雨時의 洪水流出特性", 일본 토목학회 수공학논문집, 제50권, 343-348.