

판별분석을 이용한 산악지역 도로-하천 연결 특성 분석

박상형 · 박창열* · 유철상*†

국립방재연구소 연구기획팀

*고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부

Analysis of Road-to-Stream Linkage Characteristics in a Mountain Catchment using the Discriminant Analysis

Sang-Hyoung Park · Changyeol Park* · Chulsang Yoo*†

Research Planning Team, National Institute for Disaster Prevention

*School of Civil, Environment and Architectural Engineering, Korea University

(Received 26 July 2010, Revised 28 January 2011, Accepted 28 January 2011)

Abstract

This study analyzed the linkage characteristics between road runoff and the nearest streams in mountain regions using a discriminant analysis. The road-to-stream linkage is an important characteristic to evaluate whether the contaminant on road surface is transported directly into the nearby channel system. This study evaluated a total of 51 drainage outlets of mountain roads near the Soyanggang Dam. The linkage between road and stream, slope and width of road, and other information necessary for the discriminant analysis have been collected by in situ investigation and by analyzing the Digital Elevation Model. Finally, as independent variables in the discriminant analysis, the contributing road representing the road characteristics (similar to the runoff from the road drainage outlet) and the distance and slope of the connecting channel between road and nearest stream were selected. Among these three, the distance was found to have the highest discriminant power, the contributing road the lowest. Using the discriminant function derived, 40 out of 51 cases (78.4%) were correctly discriminated and the remaining 11 cases (21.6%) were wrongly discriminated. Reasons of wrongly discriminated cases were mainly due to change in drainage outlet direction, excessive runoff, change in road-to-stream path, etc. This result also indicates that the road-to-stream linkage can be introduced or prohibited by exactly the same way.

keywords : Contaminant, Discriminant, Drainage, Road-to-stream

1. 서론

하천이 포함된 공공수역으로 유입되는 오염물질은 점오염원(point source)과 비점오염원(non-point source)으로 구분될 수 있다(국립환경연구원, 1992; 한국환경정책평가연구원, 2002). 점오염원은 생활하수, 산업폐수처럼 배출되는 지점이 명확하여 우수와 지하수로부터 분리가 용이하다. 또한 오염물질을 처리장으로 유입시켜 처리할 수 있으므로 관리 및 처리가 쉽다. 반면 비점오염원은 골프장 초지, 양식장, 방목지, 야적장, 농경지배수, 도시노면배수처럼 불특정 배출경로를 갖는 지점에서 발생하는 오염원으로 배출량 및 오염 기여도의 파악이 용이치 못하고 통제가 어렵다(이관호, 2007; 조용욱 등, 2004).

다양한 비점오염원에 대한 일괄적 관리는 현재 상태로는 불가능하다. 따라서 조절 가능한 경우와 오염물질의 농도가 높아 주변 환경에 그 영향이 심각한 경우 등이 주요 관심의

대상이 되고 있다. 특히 도심지역에서는 불투수면이 주요 관심대상이며, 농경지역에서는 비료사용 및 농약사용 등이 관심대상이다. 산지지역에서는 도로에서의 오염물질이 중요한 의미를 갖는다. 그 이유는 도로위에 축적된 오염물질은 강우 시 인근의 하천으로 쉽게 유입되기 때문이다(조용욱 등, 2004).

불투수면인 도로에서의 주요 오염물질은 대기로부터 침적하거나, 주행하는 자동차, 트럭, 가솔린을 이용한 각종 운반도구로부터 발생한다(U.S. EPA, 1994). 많은 차량의 운행 및 정차는 타이어, 자동차 엔진 등으로부터 각종 중금속, 유류 등을 유출시키며, 마모된 도로포장은 다량의 입자상 물질을 유출시켜, 강우시 중금속을 흡착 이동시키는 원인이 된다고 알려져 있다(김이형, 2007; 김이형과 강주현, 2004; 김이형과 이선하, 2005). 강우 시 인근 하천으로 유입된 이러한 오염물질들은 하천 수질 악화의 원인이 된다(Anderson and Potts, 1987; Barrett et al., 1998; Becher et al., 2000; Bilby et al., 1989; Charbeneau and Barrett, 1998; Grayson et al., 1993).

도로에서의 배수가 표면유출을 집중시키고, 이에 따라 토사나 비점오염원의 집중적인 이송에 따른 수질오염의 중요

† To whom correspondence should be addressed.
envchul@korea.ac.kr

한 원인을 제공한다는 것은 많은 연구에 의해 보고된 바 있다(Anderson and Potts, 1987; Bilbly et al., 1989; Croke et al., 1999a, 1999b, 1999c; Fahey and Coker, 1989; Reid and Dunne, 1984). 그러나 도로가 대상 유역의 수문/수질에 미치는 영향의 형태나 범위는 매우 다양하다. 즉 도로에서 발생하는 유출의 크기, 인접 지역의 토양 및 지형조건에도 크게 영향을 받는다. 더욱 중요한 것은 도로 및 하천사이의 연결 정도에 따라 가장 크게 영향을 받는다는 점이다(Novotny and Chesters, 1989). 다시말해 유역 내 하천의 오염 정도는 도로에서의 유출, 토사, 및 기타 오염물질이 유역의 하천망(channel network)에 직접 전달되었을 경우에 주로 발생하며, 따라서 도로-하천 사이의 연결 특성과 상당한 관련이 있다고 할 수 있다(Montgomery, 1994; Wemple et al., 1996).

국외뿐만 아니라 국내에서도 우기의 집중호우로 인하여 토사유출이 많거나(이근상 등, 2004; 이수영 등, 2005), 산사태의 위험이 큰 지역, 또는 생태학적으로 중요한 습지, 하천 등으로의 비점오염원(김이형 등, 2006a, 2006b, 2006c), 또는 토사유입이 가능하여 환경적인 문제가 가능한 지역 등은 토사나 비점오염원의 유출 감소를 목적으로 배수구 위치의 변경 또는 추가, 배수구와 인접 하천사이의 직접연결을 방해하는 시설설치 또는 기타 방안의 강구 등의 적극적인 조치를 취하고 있다. 경우에 따라서는 새로운 도로 관리기준을 만들거나, 권고사항 또는 지침들로 제시하고 있기도 하다. 가장 간단한 사항들이 Croke and Mockler (2001)에 자세히 언급되어 있는데, 예를 들어 도로는 하천에서 가능한 멀리 위치시킬 것, 도로와 하천사이에 완충 식생대를 둘 것, 아울러 규정에 맞는 도로 배수관을 설치할 것 등이다. 경우에 따라서는 단순히 배수구의 간격을 달리(그 기준이 지역적으로 매우 다르기는 하지만) 조정하는 것만으로도 유출특성이나 토사 및 비점오염원 이동경로의 특성 등을 크게 바꿀 수 있는 것으로 알려져 있다.

국내의 경우에는 고속도로에서 강우초기의 비점오염원 발생과 관련된 연구가 김이형 등(2006a, 2006b, 2006c)에 의해 수행된 바 있다. 그러나 국내의 지속적인 도로망의

확충에도 불구하고 도로-하천 연결 등 도로 건설로 인한 유역 내 수문순환 특성 변화에 관한 연구는 전무한 상황이다. 이에 본 연구에서는 산악지역이 많은 우리나라 지형학적 특성에 초점을 맞추어 산악지역 도로에서 유출되는 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 문제를 살펴보고자 한다. 즉, 어떤 경우에 도로 배수구에서 유출된 오염물이 인근 하천까지 직접적으로 연결되는지 또는 어떤 경우에 연결이 안 되는지를 구별하고 아울러 그 특성을 파악하는데 목적이 있다. 궁극적으로는 도로-하천 연결의 특성을 파악하여 배수구와 인접 하천 사이의 직접 연결을 방해하는 방안을 파악하고, 이를 통해 도로 유출수가 하천에 직접 전달되는 것을 예방하는데 의의를 두고자 한다. 도로의 배수구가 하천과 직접 연결되지 않는다면 도로의 영향이 도로의 가까운 주변으로 국한되고, 따라서 유역 전반에, 특히 수질에 미치는 영향이 미미할 것이기 때문이다.

본 연구에서는 산악지역 도로의 배수구와 인근 하천의 연결 특성에 영향을 미치는 다양한 인자들을 조사하고, 이들 관계를 이용하여 산악지역 도로-하천 연결 특성을 정량적으로 표현하고자 한다. 이를 위한 방안으로 판별분석을 이용하였다. 독립변수로는 도로에서의 유출규모를 나타내는 인자인 기여길이 및 도로경사, 도로와 인접하천 사이의 지형학적 인자인 물길거리 및 물길경사 등을 고려하였다.

2. 연구방법

2.1. 대상지역 및 조사자료

본 연구는 대상 유역으로 한강 유역의 소양강댐 인근 지역을 선택하였다. 소양강댐 유역은 수도권 대표적 인공 식수원으로써 수치지도, 토지피복도, 토양도 등의 지형자료 확보가 쉬운 곳이다. 아울러 도로에서 배출되는 오염물질이 바로 소양호로 유입될 수 있으므로 본 연구의 목적과도 부합되는 지역이다. 구체적인 조사지점은 소양호 인근 46번 국도 A지역 8.5 km, C지역 5.0 km, 56번 국도 D지역 4.0 km 및 8번 화천군도 B지역 17.5 km 등이다(Fig. 1).

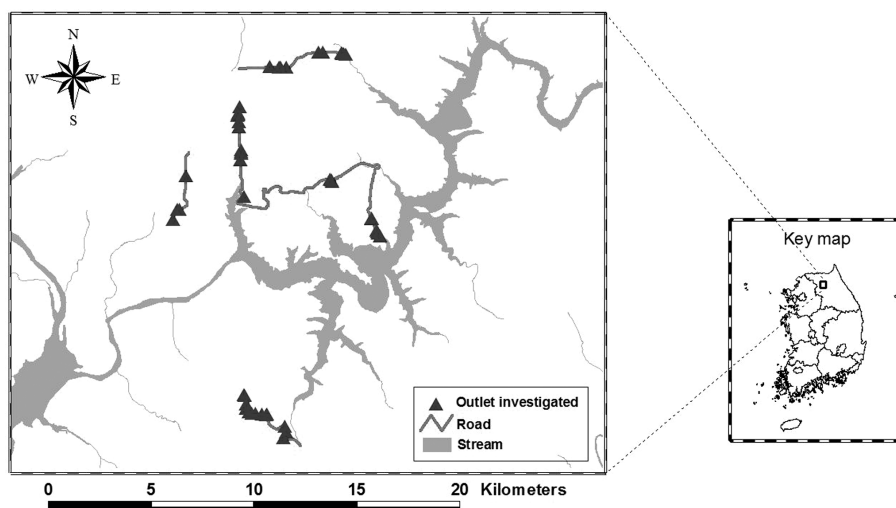


Fig. 1. Location of outlets investigated within the study area.

본 연구에서는 대상지역에 대해 총 165개의 도로 배수지점을 조사하였다. 그러나 도로 하부에 횡암거가 설치된 경우 도로 이외의 유출 기여를 갖게 됨으로, 이를 제외한 51개 지점만을 고려하였다. 대상 지점에서의 측정 인자로는 기여길이, 도로경사, 최인접 하천과의 연결 여부 등이다. 기여길이(contributing length)는 배수구에서 다음 배수구까지의 길이를 말하며, 도로경사(road slope)는 배수구에서 다음 배수구까지의 평균 경사를 의미한다(Fig. 2 참조). 하천과의 연결 여부는 배수구 출구지점으로부터 최인접 하천까지 물길흔적을 조사하여 판단하였다. 그 외의 인자인 물길거리(length of flowpath, 도로의 배수구에서 최인접 하천까지의 거리)와 물길경사(flowpath slope, 물길거리에 대한 평균 경사)는 현장조사를 통한 추정이 불가능하여 1:5,000 수치지형도를 수집하여 구축한 수치표고모형을 이용하여 추정하였다. 이때 격자 크기는 10 m×10 m으로 하였으며, 대상지역에 대한 현장조사 및 GIS 분석 결과는 Table 1에 정리하였다. 여기서 기여도로(contributing road)는 기여길이와 tan(도로경사)를 곱한 값으로 정의하였으며, 그 의미는 다음 장에서 언급하기로 한다.

Table 1에 정리된 인자들의 특성은 약간의 오차를 포함할 수밖에 없다. 이는 크게 현장조사시에 발생 가능한 오차와 GIS 분석에 이용되는 수치지도와 수치표고모형의 격자 크기에 따른 오차로 구분할 수 있다. 그러나 본 연구에서 수집한 자료의 특성이 대부분 현장조사를 통한 것이고 조사지점이 51개임으로 이들 오차는 무시하였다.

2.2. 판별분석의 이론적 배경

2.2.1. 집단 평균의 동질성에 대한 검정

판별분석의 핵심은 집단 구성원을 서로 변별하는 것이므로, 두 집단의 평균점의 차이에 대한 통계적 검정이 중요한 의미를 갖는다. 평균점의 차이에 대한 동질성 검정에는 Wilks의 Λ 와 F 값 등이 있다.

우선 Wilks의 Λ 는 모집단의 다변량정규분포를 가지는 경우 모집단 평균간의 차이를 검정하는 우도비 통계량(likelihood ratio statistic)이다. Wilks의 Λ 는 판별함수 그

자체에 대한 검정방법이라기보다는 그 판별함수가 유도되기 이전에 시스템에 잔류하는 판별력의 유의성 여부를 검토하는 간접적인 접근 방법으로 다음과 같이 정의된다.

$$\Lambda = \frac{\text{집단내 분산}(SSW)}{\text{총분산}(= \text{집단내 분산} + \text{집단간 분산})(SST)} \quad (1)$$

여기서 Wilks의 Λ 가 1이면 관측된 집단 간의 평균이 동일하다는 것(차이가 없음)을 의미하지만, 이 값이 0에 가까우면 집단내의 분산이 총분산에 비해 작기 때문에 집단 평균 간에는 차이가 있다는 것을 나타낸다. 이것은 Wilks의 Λ 값이 작을수록 집단간의 판별력은 높아짐을 의미한다(정충영과 최이규, 1998). 이를 보다 확실하게 알 수 있는 방법은 자유도를 고려하여 산정한 F 값을 이용하는 것이다. 이 F 값의 의미와 추정절차는 박현정(2005)에서 자세히 살펴볼 수 있다. Wilks의 Λ 와 F 값은 서로 반대의 특성을 가져, Wilks의 Λ 값이 크면 F 값이 작아지고, Wilks의 Λ 값이 작으면 F 값이 커진다. 당연히 F 값이 클수록 집단간의 분산이 커지게 되어 판별력이 높아지게 된다.

2.2.2. 판별분석 모형

판별분석은 집단 간 특성의 차이를 최대화시켜 줄 수 있는 변수들의 선형결합을 도출하여 관측자료(본 연구에서는 기여도로, 물길거리, 물길경사 등을 나타냄)를 분류하는 방법이다. 즉, 판별분석은 관측자료를 두 개 이상의 집단으로 구분하는데 있어 각 독립변수들의 설명력을 평가하기 위한 방법이라 할 수 있다(박현정, 2005).

판별분석은 기본적으로 한 개의 종속변수와 여러 개의 독립변수를 가지는 선형모형이다. 종속변수는 관측자료들의 소속집단을 나타내는 범주형 변수이고, 여러 개의 독립변수들이 선형조합 되어 인위적인 조합점수 즉, 판별점수(discriminant score)가 만들어진다. 이 때 독립변수들을 조합하는 기준은 조합점수의 집단 내 분산(within-group sum of square)은 상대적으로 최소화되고, 집단 간 분산(between-groups sum of square)은 상대적으로 최대화되어야 한다는

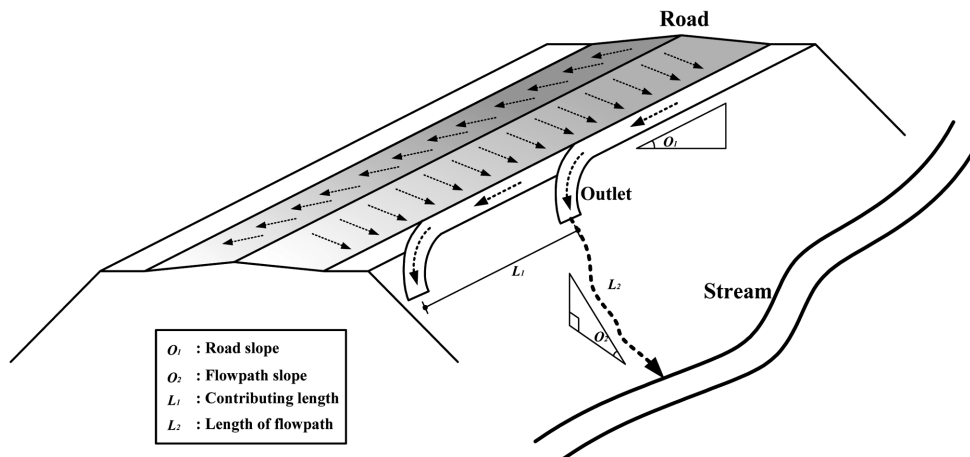


Fig. 2. Definition of parameters used in this study.

Table 1. Characteristic parameters of 51 drainage outlets in this study

No.	Contributing length(m) ①	Road slope (degree) ②	Tan (road slope) ③	Contributing road ④(=①×③)	Length of flowpath (m)	Flowpath slope (degree)	Road-to-stream linkage (linkage=1, non-linkage=2)
1	197.0	6.0	0.105	20.702	310.0	20.2	2
2	142.0	5.3	0.093	13.170	196.0	19.9	2
3	85.0	3.5	0.061	5.198	252.0	22.2	2
4	122.0	6.0	0.105	12.820	223.0	25.8	2
5	18.0	6.5	0.114	2.050	3.0	73.3	1
6	73.0	6.5	0.114	8.316	3.0	71.6	1
7	66.7	7.0	0.123	8.188	25.0	1.8	2
8	58.0	7.0	0.123	7.120	3.0	66.8	1
9	10.0	8.0	0.141	1.405	306.6	8.3	2
10	83.5	2.0	0.035	2.915	185.8	10.7	2
11	140.4	5.7	0.100	14.011	8.8	0.7	1
12	88.0	6.0	0.105	9.247	44.1	9.0	1
13	62.0	6.0	0.105	6.515	13.4	25.5	1
14	212.0	5.7	0.100	21.156	36.8	14.3	1
15	130.0	3.0	0.052	6.812	30.0	6.8	1
16	190.0	5.0	0.087	16.620	21.3	6.4	2
17	43.6	4.0	0.070	3.048	830.2	8.8	2
18	209.1	3.0	0.052	10.956	23.5	2.9	2
19	82.6	6.0	0.105	8.680	77.3	14.2	2
20	8.1	8.0	0.141	1.138	55.8	18.3	2
21	4.9	6.0	0.105	0.515	52.0	19.1	2
22	5.3	8.0	0.141	0.745	47.9	18.5	2
23	4.1	10.0	0.176	0.723	42.1	15.9	2
24	128.1	6.0	0.105	13.461	14.5	7.9	1
25	18.4	5.0	0.087	1.609	20.7	2.8	1
26	72.2	6.0	0.105	7.587	14.6	7.8	1
27	15.6	6.0	0.105	1.639	9.3	6.1	1
28	167.9	4.0	0.070	11.738	0.4	50.0	1
29	185.0	3.0	0.052	9.694	311.2	9.7	1
30	95.2	3.0	0.052	4.988	30.2	5.7	2
31	96.0	3.0	0.052	5.030	102.3	12.1	2
32	180.8	3.0	0.052	9.474	373.2	6.7	2
33	210.1	4.0	0.070	14.689	110.0	9.8	2
34	107.4	4.0	0.070	7.509	20.0	3.7	2
35	94.5	4.0	0.070	6.607	198.6	6.0	2
36	8.1	5.0	0.087	0.709	277.2	5.4	2
37	89.8	4.0	0.070	6.278	155.1	5.5	2
38	88.4	4.0	0.070	6.180	12.7	4.5	1
39	178.0	2.0	0.035	6.215	17.6	13.7	1
40	57.8	3.0	0.052	3.029	27.4	12.2	1
41	141.3	4.0	0.070	9.879	33.5	15.0	1
42	172.0	3.0	0.052	9.012	43.9	32.3	1
43	111.4	4.0	0.070	7.788	29.2	22.0	1
44	189.0	3.0	0.052	9.903	24.2	11.2	1
45	135.4	3.0	0.052	7.095	21.1	9.9	1
46	86.4	2.0	0.035	3.017	28.8	12.1	1
47	50.0	1.0	0.017	0.873	32.5	10.3	1
48	16.0	2.0	0.035	0.559	18.1	14.0	1
49	151.3	4.0	0.070	10.578	41.6	4.8	2
50	149.0	2.0	0.035	5.202	39.2	16.1	1
51	82.1	4.0	0.070	5.740	42.4	26.8	1

것이 된다. 판별분석을 통해 찾아내는 모형은 일반적으로 다음과 같다.

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p \tag{2}$$

여기서 z 는 독립변수들 x_1, x_2, \dots, x_p 의 조합에 의하여 인위적으로 만들어지는 선형조합 점수를 나타내며, a_1, a_2, \dots, a_p 는 판별계수로써 집단 간 분산에 대한 집단 내 분산의 비율이 최대화되도록 하는 상수이다.

2.2.3. 판별계수의 산출

판별분석 모형에서 판별계수를 산출하기 위해 식 (2)를 행렬식으로 구성하면 다음과 같은 선형판별함수식으로 표현할 수 있다.

$$z = Xa \tag{3}$$

여기서 벡터 z 는 N (사례의 개수)만큼의 요소를 가지는 조합점수의 열벡터이고, 벡터 a 는 p (변수의 개수)만큼의 요소를 가지는 판별계수의 열벡터이다. 행렬 X 는 $N \times p$ 만큼의 요소를 가지며 원 변수들의 편차점수 행렬이라 부른다. 식 (3)에 나타난 조합점수의 자승합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z'z = a'X'Xa = a'(B+W)a = a'Ba + a'Wa \tag{4}$$

여기서 $X'X$ 는 편차점수들의 SSCP(Sum of Squares and Cross Product) 행렬이므로, 이는 다시 집단간 SSCP와 집단내 SSCP로 분할될 수 있다. 따라서 집단간 SSCP 행렬을 B 로, 집단내 SSCP 행렬을 W 로 표기하면, $X'X = B + W$ 가 된다. 따라서 $a'Ba$ 는 조합점수에서의 집단간 분산을 나타내는 상수항이고, $a'Wa$ 는 조합점수에서의 집단내 분산을 나타내는 상수항이 된다. 판별분석은 궁극적으로 다음 함수를 최대화하는 판별계수 벡터 a 를 결정하는 과정이라 할 수 있다. 즉 집단내 분산은 최소로 하고, 집단간 분산은 최대로 하는 판별계수를 결정하는 과정이 된다.

$$\lambda = a'Ba/a'Wa \tag{5}$$

여기서 λ 가 최대가 되게 편미분하여 0으로 놓고 풀면 $|BW^{-1} - \lambda I|a = 0$ 을 얻게 된다. λ 의 최대값은 BW^{-1} 의 가장 큰 고유치(eigen value)가 되고, 이 고유치에 대한 고유벡터(eigen vector)가 구하고자 하는 판별계수 벡터 a 가 된다. 판별계수 벡터 a 가 결정되면, 벡터의 길이가 '1'이 되도록 표준화되어야 한다. 즉, $a'a = 1$ 이 되도록 판별계수 벡터 a 를 표준화해야 한다. 이렇게 표준화된 판별계수 벡터가 결정되고 나면, 이를 식 (3)에 대입하여 각 사례의 조합점수 벡터 z 를 산출할 수 있다.

2.2.4. 판별식의 유의성 검정 및 독립변수의 판별력

표준화되지 않은 정준판별함수는 집단내 분산은 최소로 하고 집단간 분산은 최대로 만들어 주는 집단의 투영선이라 할 수 있다. 이 투영선은 각 독립변수들의 측정치를 단 하나의 숫자로 표현 할 수 있어 집단 간의 차이에 관한 정보를 단일 선상의 점으로 나타낼 수 있다. 이 숫자를 판별점수(discriminant score)라 한다. 이 판별점수는 표준화되지 않은 정준판별함수에 원시자료를 입력하여 구할 수 있다.

표준화되지 않은 정준판별함수의 유의성을 검토하기위해 사용되는 것으로 정준상관계수(canonical correlation coefficients)와 고유값(eigen value), Wilks의 Λ , χ^2 등이 있다. 정준상관계수는 판별식에 의해 설명되는 판별점수의 분산을 총분산으로 나눈 것을 제곱근한 것으로 계산된다. 이것은 판별점수와 집단들 간의 관련정도를 나타내는 것으로 즉, 판별함수의 판별력(discriminant power)을 평가할 수 있는 지표로 '1'에 가까울수록 판별함수의 판별력이 우수하다고 할 수 있다. 고유값은 집단간의 분산을 집단내 분산으로 나눈 값으로 이 값이 클수록 판별함수의 판별력이 우수하다고 할 수 있다. 또한 χ^2 값은 Wilks의 Λ 값에 자유도를 고려하여 계산된 것으로 χ^2 값과 유의확률이 제공되면 이 값들을 이용하여 표준화되지 않은 정준판별함수의 유의성을 검정할 수 있다. 그러나 여기서 판별함수의 계수는 표준화되어 있지 않으므로 독립변수들의 상대적인 중요성을 판단하는데 이용할 수 없다.

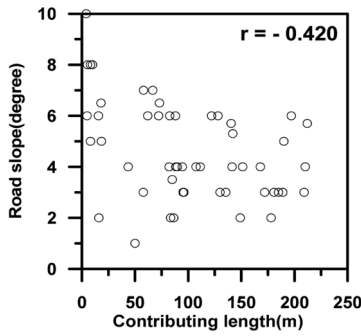
독립변수들의 상대적인 중요성을 판단하기 위해서는 표준화된 정준판별함수가 주로 이용된다. 표준화된 정준판별식은 원시자료를 평균이 0, 표준편차가 1인 것으로 변형하였을 때의 판별함수를 의미한다. 표준화된 정준판별함수는 판별함수를 해석하기 위한 또 하나의 접근방법으로 각 변수에 할당된 판별계수의 부호와 절대값을 검토하는 것이다. 이를 통해 판별함수에 더 큰 영향을 미치는 변수를 확인할 수 있다. 즉, 표준화된 정준판별함수에서 계수의 절대값이 클수록 판별력이 크다는 것을 의미한다.

표준화된 정준판별함수와 다른 변수들 간의 상관계수를 통해서도 각 독립변수의 판별력을 평가할 수 있다. 이 상관계수 값을 판별 적재값(discriminant loading)이라 한다. 일반적으로 각 독립변수의 판별력을 보기 위하여 표준화된 판별계수를 이용하였으나, 다중회귀분석의 경우와 유사하게 각 독립변수의 판별력에 다중공선성(multicollinearity)의 영향이 있을 수 있어, 최근에는 변수와 판별함수간의 상관관계 계수를 보여주는 구조행렬상의 판별 적재값이 많이 이용되고 있다. 일반적으로 판별 적재값이 ± 0.30 이상인 경우 유의한 것으로 판단한다. 물론 판별 적재값이 클수록 판별력이 크다는 것을 의미한다.

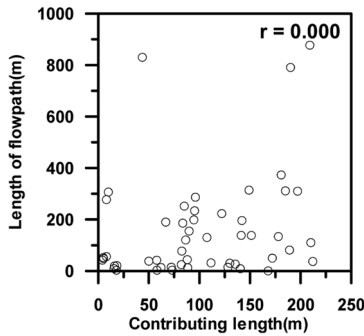
3. 결과 및 고찰

3.1. 도로-하천 연결 특성과 관련된 인자들의 상관관계

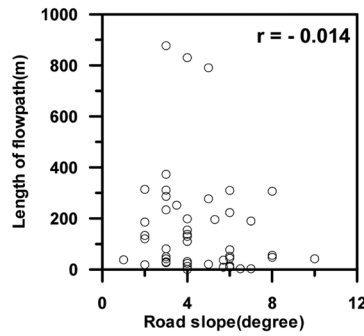
본 연구의 궁극적인 목적은 산악지역의 도로-하천 연결 특성을 파악하는데 있다. 도로-하천 연결 정도는 여러 인자들에 의해 나타남으로 Table 1에 정리한 변수들의 특성을



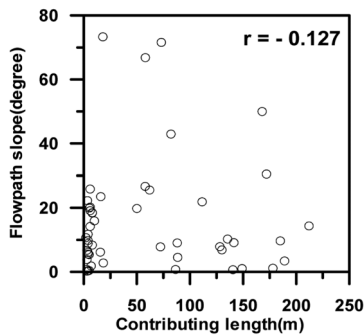
(a) Road slope and contributing length



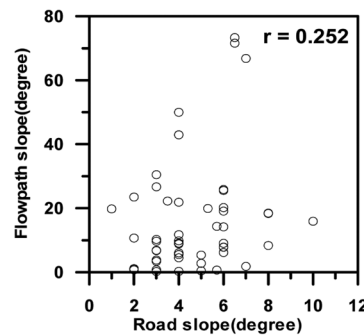
(b) Length of flowpath and contributing length



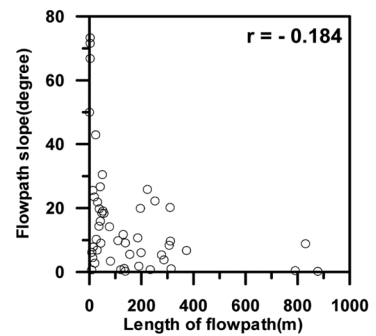
(c) Length of flowpath and road slope



(d) Flowpath slope and contributing length



(e) Flowpath slope and road slope



(f) Flowpath slope and length of flowpath

Fig. 3. Scatter plots among characteristic parameters of 51 drainage outlets in this study.

파악한 후, 판별분석에 적용할 필요가 있다.

먼저, 도로-하천 연결에 영향을 끼치는 각 인자들 사이의 상관관계를 파악하였다. Fig. 3은 측정된 4가지 인자들 (기여길이, 도로경사, 물길거리, 물길경사) 간의 산포도 및 상관계수를 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 3(a)은 도로경사와 기여길이 사이의 산포도를 보여준다. 측정된 상관계수 (-0.420)를 통해서도 살펴볼 수 있듯이 음의 상관관계가 있음을 나타낸다. 이와 같은 음의 상관관계는 배수구조물 사이의 간격 결정 시 최대 유량의 규모를 유사하게 하기 위해 도로경사와 기여길이를 함께 고려하는 설계관행 때문이다(NSW State Forests EIS, 1994). 즉, 도로경사가 크면 기여길이가 짧고, 반대로 도로경사가 작으면 기여길이가 크게 된다. 그러나 물길거리와 기여길이 사이에 상관관계가 존재하지 않으며(Fig. 3(b)), 또한 물길거리와 도로경사

사이에도 유의한 상관관이 존재하지 않음을 확인할 수 있다 (Fig. 3(c)).

Fig. 3(e)은 물길경사와 도로경사 사이에 약한 양의 상관관계가 있음을 보여준다. 우리나라의 경우 도로 건설이 주로 절토와 성토를 통해 하천 주변을 따라 이루어지므로 도로경사가 급하면 도로 주위 사면의 경사가 급할 가능성이 크고, 따라서 사면의 경사는 바로 물길경사에 영향을 미치게 되는 것이다.

마지막으로 Fig. 3(d)은 물길경사와 기여길이 사이의 관계를, Fig. 3(f)은 물길경사와 물길거리 사이의 관계를 나타낸 것으로, 각각의 측정된 상관계수는 -0.127과 -0.184로 변수 간에 음의 상관관계를 보임을 알 수 있다. 이러한 이유는 물길경사와 도로경사, 도로경사와 기여길이의 관계에서 살펴볼 수 있다. 즉, 물길경사가 커지면 도로경사가 급

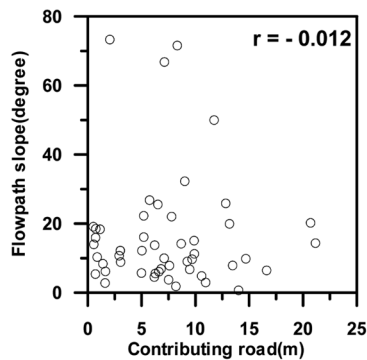
해지고(Fig. 3(e) 참조), 도로경사가 급하면 기여길이가 짧아지기 때문이다(Fig. 3(a) 참조). 이로 인해 Fig. 3(d)에서와 같이 물길경사와 기여길이는 음의 상관관계를 갖게 된다. Fig. 3(f)은 물길경사가 급하면 물길거리가 짧을 가능성이 높다는 것을 보여주는데, 이는 도로가 인근 하천으로 바로 연결될 가능성이 높다는 것을 의미한다.

각 인자들 사이의 상관관계를 통해 기여길이 및 도로경사는 판별분석에 유용하지 않은 인자임을 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서는 ‘기여도로(contributing road)’라는 새로운 독립변수를 도입하였으며, 이는 기여길이와 도로경사를 곱한 값으로 도로에서 유출되는 유량의 개념을 나타낸다(Table 1 참조). 이러한 이유는 현재의 도로 설계 관행상 배수구조물 사이의 간격 결정 시 최대 유량의 규모를 일정하게 하기 위해 기여길이와 도로경사를 함께 고려하도록 되어 있기 때문이다(NSW State Forests EIS., 1994). 기본적으로 유량은 유역면적과 (유역경사)^{1/2}에 비례한다. 이때 도로에서 유역면적을 보면, 폭이 일정하여 기여길이가 면적을 대변하고, 유역경사의 경우는 도로 배수구 사이에서 그 범위가 매우 작아 $\sqrt{\quad}$ 를 취하여도 변별력이 미미할 것으로 판단된다. 다시 말해 유출구로 구분되는 도로의 유역면적에서 보면, 그 경사는 매우 작게 나타난다. 이렇게 되면 기여도로는 도로경사의 영향을 거의 받지 않고 기여길이의 특성과 유사할 수밖에 없다. 이에 본 연구에서는 도로경사의 영향을 보다 확대하기 위해 $\tan(\text{도로경사}^\circ)$ 로 변환하여 기

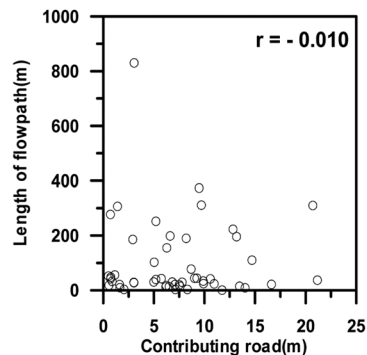
여도로 산정시에 이용하였다.

Fig. 4는 판별분석에 사용되는 독립변수 3가지에 대해 추가로 분석한 산포도 및 상관계수를 보여준다. 여기서 Fig. 4(a)는 물길경사와 기여도로 사이의 관계를, Fig. 4(b)는 물길거리와 기여도로 사이의 관계를 나타낸 것으로, 각각의 상관계수는 -0.012와 -0.010로 변수 간에 아주 약한 음의 상관관계를 보여준다. 그리고 Fig. 4(c)는 물길거리와 물길경사 사이의 관계로 Fig. 3(f)에서와 같은 경우를 나타낸다. 그러나 여기서도 기여도로와 타 인자 사이의 상관관계는 모두 작게 나타났다. 이는 배수구에 의한 유출량을 대변하는 기여도로의 특성이 배수구에서 인근 하천까지의 특성을 갖는 물길거리와 물길경사와 크게 관련되어 있지 않음을 의미한다. 즉, 기여도로는 산악지역 도로-하천 연결의 특성을 결정짓는 주요 인자가 될 수 없음을 알 수 있다.

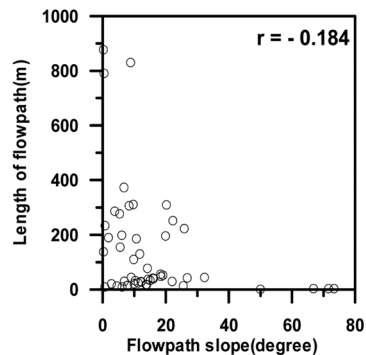
Table 2는 두 집단인 인근하천과의 연결/비연결의 측정자료 개수와 집단별 평균, 표준편차를 정리한 것이다. 전체 자료에서 인근하천과 연결된 경우와 비연결된 경우 기여도로의 평균은 각각 7.239 m, 7.195 m이고, 물길거리의 평균은 32.719 m, 171.733 m이며, 물길경사의 평균은 20.459°, 11.363°로 차이를 보이고 있다. 두 집단 모두 기여도로의 평균은 비슷하지만 물길거리의 평균은 비연결 집단이 연결 집단에 비해 대략 5배 정도 길었고, 물길경사의 평균은 연결 집단이 비연결 집단에 비해 대략 2배 정도 급한 것으로 나타났다.



(a) Flowpath slope and contributing road



(b) Length of flowpath and contributing road



(c) Length of flowpath and contributing road

Fig. 4. Scatter plots among independent parameters used the discriminant analysis.

Table 2. Basic statistics of road-to-stream linkage groups

Type	Variables	Mean	Standard deviation	The number of effective outlets
All type	Contributing length (m)	7.218	5.034	51
	Length of flowpath (m)	98.137	144.669	
	Flowpath slope (degree)	16.178	16.334	
Linkage	Contributing length (m)	7.239	4.588	27
	Length of flowpath (m)	32.719	57.199	
	Flowpath slope (degree)	20.459	20.721	
Non-linkage	Contributing length (m)	7.195	5.593	24
	Length of flowpath (m)	171.733	176.419	
	Flowpath slope (degree)	11.363	6.996	

3.2. 판별분석 결과

3.2.1. 집단 평균의 동질성에 대한 검정

판별분석에는 집단 간에 차이가 있는 변수들만이 이용되는데, 이러한 판별분석에 이용될 변수들을 선택하기 위하여 집단 평균의 동질성에 대한 검정이 필요하다. 이와 같은 동질성 검정을 위해서 본 연구에서는 Wilks의 Λ 와 F 값을 이용하였고, 그 분석 결과를 Table 3과 같이 정리하였다. 앞에서 설명한 것과 같이 Wilks의 Λ 의 값이 커지면 F 값은 작아지고, Wilks의 Λ 값이 작아지면 F 값은 커지는 것을 알 수 있다.

동질성 검정결과, 3개의 변수 중에서 물길거리와 물길경사의 F 값에 대한 유의확률은 각각 0.000, 0.046로서 유의수준($\alpha = 0.05$) 보다 작으므로 하천 연결 여부에 대해 집단 간에 차이가 있음을 보여준다. 반면에 기여도로의 경우 Wilk의 Λ 는 1.000이고, 유의확률은 0.976로서 유의수준($\alpha = 0.05$) 보다 크고 F 값도 0.001로 작으므로 연결/비연결 집단간에 차이가 없다는 것을 의미한다. 그러나 본 연구에서의 기여도로는 기여길이와 도로경사를 곱한 값으로 도로에서의 유출량을 대변하므로, 다소 유의성이 떨어짐에도 불구하고, 판별분석 시 독립변수로 사용하였다.

3.2.2. 판별식 및 판별식의 유의성 검정

본 연구에서 유도한 표준화되지 않은 정준판별함수는 다음과 같다.

$$D = -0.001X_1 + 0.007X_2 - 0.027X_3 - 0.231 \quad (6)$$

여기서 D 는 정준판별함수식, X_1 는 기여도로, X_2 는 물길거리, X_3 는 물길경사를 나타낸다. 판별함수의 유의성 검토 결과는 Table 4에 정리하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 정준상관 값은 0.522이고 고유값은 0.375이므로, 이들 값은 충분히 커서 판별함수의 판별력이 우수하다고 판단할 수 있다. 또한 Wilks의 Λ 는 0.727이고, Wilks의 Λ 에 자유도를 고려하여 계산된 χ^2 은 15.122(유의확률 값 0.002)로 유의수준 ($\alpha = 0.05$)에 대해 두 집단 간에 유의적인 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 식 (6)은 표준화되지 않은 정준판별함수로서 계수가 표준화되어 있지 않으므로 독립변수들 간에 상대적 중요성을 판단하는데 이용할 수 없다. 이에 본 연구에서는 표준화된 정준판별함수를 추가로 유도하였고, 그 결과는 다음과 같다.

$$D = -0.006X_1 + 0.880X_2 - 0.428X_3 \quad (7)$$

여기서 X_1 는 평균과 표준편차를 이용하여 표준화된 기여도로, X_2 는 표준화된 물길거리, X_3 는 표준화된 물길경사를 나타낸다. 이 판별식에서 계수의 절대값 크기는 변수들간의 상대적인 중요도를 나타낸다. X_1, X_2, X_3 의 계수에 대한 절대값 크기를 비교해 보면 $X_2 > X_3 > X_1$ 순으로 설명력이 높다. 따라서 물길거리가 판별력이 가장 크고 기여도로의 판별력이 가장 적다는 것을 알 수 있다.

추가로 Table 5는 각 독립변수의 판별력 크기를 알기 위한 또 하나의 방법으로 표준화된 정준판별함수와 독립변수들 간의 상관관계 계수(판별 적재값)를 나타낸 것으로서 이를 구조행렬이라고 한다. 앞서 언급하였듯이 판별 적재값이 ± 0.30 이상인 경우 유의한 것으로 판단하고, 판별 적재값이 클수록 판별점수는 높아진다. Table 5에서 독립변수들의 판별 적재값을 비교해보면 X_2 (물길거리)의 경우가 가장 큰 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 판별함수에서 가장 영향력이 큰 변수는 물길거리가 된다.

Table 3. Test of homogeneity for two groups

Variables	Wilks Λ	F - value	Significance probability
Contributing road	1.000	0.001	0.976
Length of flowpath	0.765	15.022	0.000
Flowpath slope	0.921	4.192	0.046

Table 4. Significance test of unstandardized canonical discriminant function

Canonical correlation coefficients	Eigen value	Wilks Λ	Chi - square	Significance probability
0.522	0.375	0.727	15.122	0.002

Table 5. Structure matrix between standardized discriminant function and independent variables

Parameters	Correlation coefficient (discriminant loading)
Contributing load (X_1)	-0.007
Length of flowpath (X_2)	0.904
Flowpath slope (X_3)	-0.478

3.2.3. 집단분류 및 적중률

표준화되지 않은 정준판별함수의 판별식(식 (6))에 의해 구해진 판별점수가 분류기준보다 작으면 하천 연결 집단으로 분류하고, 분류기준보다 크면 비연결 집단으로 분류한다. 분류기준은 이 두 집단 판별점수의 전체 평균으로, 다음 식을 이용하여 결정한다.

$$\text{분류기준} = \frac{n_1 C_1 + n_2 C_2}{n_1 + n_2} \quad (8)$$

여기서 C_1 과 C_2 는 각 집단의 판별점수의 집단평균, 즉 중심점(group centroid)이고, n_1 과 n_2 는 각 집단의 표본의 수이다. 일반적으로 판별분석에서 계산된 두 집단의 전체 평균은 0이 된다.

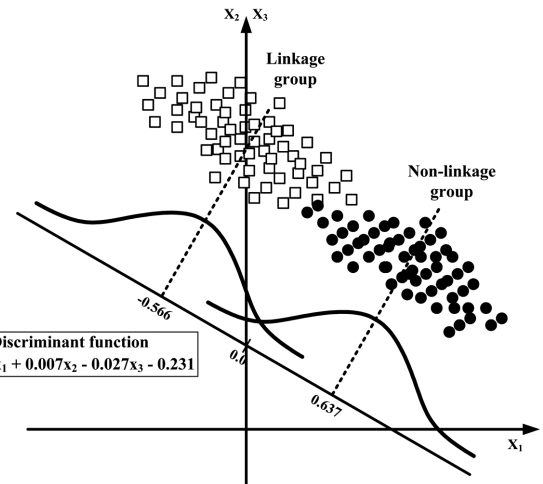


Fig. 5. Centroids of linkage and non-linkage groups.

Fig. 5는 두 집단의 전체 평균값 0이 연결/비연결 집단의 중심점임을 나타낸 것이다. 중심점 0으로부터 비연결 집단의 중심은 0.637 만큼 떨어져 있고, 연결 집단의 중심은 -0.566 만큼 떨어져 있어, 비연결 집단이 연결 집단보다 중심점 0으로부터 멀리 떨어져 있다는 것을 알 수 있다. 함수의 집단 중심점을 보면 연결 집단의 평균이 0보다 작으므로 기여도로와 물길경사가 클수록, 그리고 물길거리가 작

Table 6. Discriminant scores estimated by the discriminant function

No.	Actual group	Predicted group	Discriminant score	No.	Actual group	Predicted group	Discriminant score
1	2	2	1.335	27	1	1	-0.333
2	2	2	0.567	28	1	1	-1.591
3	2	2	0.899	29*	1	2	1.639
4	2	2	0.593	30*	2	1	-0.182
5	1	1	-2.191	31	2	2	0.141
6	1	1	-2.152	32	2	2	2.146
7	2	2	1.019	33	2	2	0.246
8	1	1	-2.021	34*	2	1	-0.201
9	2	2	1.654	35	2	2	0.967
10	2	2	0.756	36	2	2	1.530
11	1	1	-0.204	37	2	2	0.681
12	1	1	-0.180	38	1	1	-0.272
13	1	1	-0.834	39	1	1	-0.486
14	1	1	-0.387	40	1	1	-0.375
15	1	1	-0.215	41	1	1	-0.416
16*	2	1	-0.275	42	1	1	-0.810
17	2	2	5.242	43	1	1	-0.632
18*	2	1	-0.159	44	1	1	-0.377
19*	2	1	-0.092	45	1	1	-0.361
20*	2	1	-0.342	46	1	1	-0.363
21*	2	1	-0.389	47	1	1	-0.286
22*	2	1	-0.401	48	1	1	-0.485
23*	2	1	-0.371	49*	2	1	-0.086
24	1	1	-0.359	50	1	1	-0.401
25	1	1	-0.166	51	1	1	-0.669
26	1	1	-0.349				

* : Wrongly discriminated cases

Table 7. Rates of correct classification

	Actual group sets	Predicted group sets		Total
		Linkage	Non-linkage	
Frequency	Linkage	26	1	27
	Non-linkage	10	14	24
Relative frequency (%)	Linkage	96.3	3.7	100.0
	Non-linkage	41.7	58.3	100.0

을수록 인근하천에 연결된 그룹에 속할 가능성이 커진다고 해석할 수 있다.

Table 6에는 51개 지점에 대한 연결/비연결의 실제집단, 식 (6)에 의해 구해진 판별점수, 그리고 그 판별점수로 예측된 연결/비연결의 예측집단이 제시되어 있다. 여기서 인근하천과 연결된 지점은 1로, 비연결된 지점은 2로 표시하였다. 판별결과를 보면 총 51개 지점 중 11개 지점을 오판별 하였으며, 따라서 오판별 비율은 0.216(=11/51)으로 나타났다.

앞에서 수행한 판별분석 결과를 이용하여 판별 적중률을 계산하면 Table 7과 같다. 전체 자료 분석에 대해 살펴보면 연결 집단에 속하는 27개 지점 중 26개 지점이 연결로, 1개 지점이 비연결로 판별되었으므로, 연결 집단의 판별적중률은 96.3%이고 오판별 확률은 3.7%가 된다. 비연결 집단의 경우는 24개 지점 중 14개 지점이 비연결로, 10개 지점을 연결로 판별하여 판별적중률은 58.3%이고 오판별한 확률은 41.7%가 된다. 전체를 보면 총 51개 지점 중 판별적중률은 40개 지점으로 78.3%이고, 오판별한 확률은 11개 지점으로 21.6%이다.

3.3. 오판별 사례 분석

판별분석에서 판별적중률은 회귀분석의 적합도를 나타내는 기여율(또는 결정계수)의 개념과 유사하다. 즉, 판별분석에 있어서의 판별적중률은 판별식이 관측대상을 얼마나 잘 판별하는가를 나타내는 일종의 척도로 이해할 수 있다.

본 연구의 경우 연결 집단의 판별적중률은 96.3%이지만 비연결 집단의 경우 판별적중률은 58.3%에 불과하다. 특히, 비연결 집단의 경우에는 겨우 절반을 조금 넘는 수치에 불과하다. 분류기준값(0)으로부터 연결 집단은 27개 지점 중

1개 지점, 비연결 집단은 24개 지점 중 10개 지점에서 오판별하였다.

오판별 사례 분석은 산악지역 도로 배수구에서 유출된 오염물이 인근 하천까지 직접 연결되는 것을 방지하기 위한 방안의 모색을 위해 수행되었다. 본 연구에서는 표준화되지 않은 정준판별함수식을 기반으로 수치지도에서 확인할 수 있는 상황과 현장에서의 상황을 비교 검토하였다. 그 결과는 Table 8과 같다.

먼저, 연결 집단에서 오판별한 경우는 29번 지점 1개임에 주목할 필요가 있다. 이는 도로와 하천이 연결될 것으로 판단되는 경우 거의 예외 없이 연결로 확인된다는 것을 의미한다. 그러나 29번 지점의 경우 판별점수가 1.639로서 연결임에도 불구하고 비연결로 오판되었다. 현장 조사 결과가 이 지점은 도로 옆 넓은 공터에 인위적으로 조성된 물길흔적에 따라 인근 하천까지 연결되어 있음을 확인하였다.

그러나 나머지 대부분의 오판별 사례는 비연결 집단에서 오판한 경우들이다. 먼저, 16, 18, 49번 지점들을 살펴보면 판별점수가 음수로 나타나 실제 비연결임에도 불구하고 연결로 오판하였다. 그 이유는 판별점수에 영향을 미치는 기여도로의 값이 다른 지점에 비해 크기 때문이다. 현장 조사 결과 16, 49번 지점들은 하천으로 연결이 아닌 성토부도로 옆 구릉지로 배수구가 되어 있었고, 18번 지점은 성토 비탈면 방향이 아닌 절토 비탈면 방향으로 배수구가 건설되어 있음을 확인하였다. 즉, 수치지도에서의 흐름방향과는 달리 인근 하천에 쉽게 접근할 수 있는 방향으로 배수되어 오판별하게 된 것이다.

그리고 19, 20, 21, 22, 23번 지점들 역시 판별점수가 음수로 실제 비연결임에도 불구하고 연결로 오판하였다. 그 이유는 판별점수에 영향을 미치는 물길경사가 30~40%에

Table 8. Review of independent variables of incorrect classification cases

No.	Contributing road	Length of flowpath (m)	Flowpath slope (degree)	Linkage=1 Non-linkage=2	Wrongly discriminated case	Discriminant score
16	16.620	21.3	6.4	2	1	-0.275
18	10.956	23.5	2.9	2	1	-0.159
19	8.680	77.3	14.2	2	1	-0.092
20	1.138	55.8	18.3	2	1	-0.342
21	0.515	52.0	19.1	2	1	-0.389
22	0.745	47.9	18.5	2	1	-0.401
23	0.723	42.1	15.9	2	1	-0.371
29	9.694	311.2	9.7	1	2	1.639
30	4.988	30.2	5.7	2	1	-0.182
34	7.509	20.0	3.7	2	1	-0.201
49	10.578	41.6	4.8	2	1	-0.086

이르는 급경사로 되어 있었기 때문이다. 현장 조사 결과가 지점들은 물길경사는 급하지만 배수 구간의 간격이 짧아 도로에서 유출되는 침투유량이 작은 것으로 파악되었다. 유도된 판별식의 경우에는 기여도로의 판별능력이 거의 없어 이런 결과가 유도된 것으로 판단된다.

나머지 오판별한 30, 34번 지점들의 경우 판별함수식에 결정적인 영향을 끼친 독립변수는 없던 것으로 파악되었다. 현장 조사 결과 30번 지점은 앞에서 설명한 16, 49번 지점들과 동일하게 하천으로 직접 연결되지 못하고 성토부 도로 옆 구릉지로 배수구가 건설되어 있었고, 34번 지점은 18번 지점과 동일하게 성토 비탈면 방향이 아닌 절토 비탈면 방향으로 배수구가 건설되어 하천으로 연결되지 않았음을 확인하였다.

이상과 같은 결과를 종합해 보면 배수 구간 간격의 조절을 통한 배수유량 조절, 배수구 방향의 조정, 또는 도로-하천 사이의 물길 경로 조정 등을 통해 도로-하천 연결을 방해할 수 있다. 도로-하천 연결의 방해는 도로면에 쌓인 오염 물질이 여과없이 인근 하천에 유입되는 것을 차단하는 역할을 하며, 특히 수질보전의 의미가 큰 상수도 보호구역이나 국립공원에서 중요하다. 국외의 경우에는 도로-하천 연결을 방해하는 간단한 지장물의 설치만으로도 이러한 목적을 쉽게 달성할 수 있다는 보고가 있다(Jonhson and Chang, 1984; Normann et al., 1985).

4. 결론

본 연구에서는 산악지역 도로에서 배수되는 유출이 인근 하천으로 직접 연결되는지의 특성을 판별분석을 이용하여 분석하였다. 도로-하천의 연결 여부는 도로에서 발생한 오염물질이 인근 수계로 직접 전달되는지를 판단하는 중요한 척도이다. 도로에서의 오염물질이 하천에 직접 전달되는 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 하천 수질오염이 더욱 심각한 것으로 알려져 있다. 따라서 파악된 도로-하천 연결 특성은 도로 배수구와 인접 하천 사이의 직접 연결을 방해하는 방안을 도출하는데 사용될 수 있으며, 또한 오염물질 유입을 예방하기 위한 대책 마련에도 근거자료로 활용될 수 있다.

대상지점으로는 소양강댐 인근 총 35 km 도로구간의 51개 배수구를 선정하였으며, 이에 대한 도로와 하천 연결상태, 도로경사, 도로폭 및 도로주변의 지형특성은 현장조사 및 수치지도를 통해 파악하였다. 판별분석에 사용된 독립변수는 도로의 특성을 반영하는 기여도로(도로배수구의 유출량을 대표)와 최인접 하천까지의 경로특성을 반영하는 물길거리 및 물길경사이다. 이들 세 독립변수 중 판별력이 가장 작은 변수는 기여도로로 나타났다. 이는 도로 설계시 도로 배수구로부터의 침투유량을 유사하게 맞추기 위해 배수구 간격을 조정하고 있기 때문이다. 가장 큰 판별력을 갖는 독립변수는 도로에서 최인접 하천까지의 거리인 물길거리인 것으로 나타났다.

본 연구에서 유도된 판별식을 통해 총 51개 지점 중 을

바르게 판별한 경우는 40개 지점으로 78.4%, 오판별한 경우는 11개 지점으로 21.6%로 나타났다. 총 11개 지점의 오판별 중 연결 집단에서 발생한 것은 단 1개의 경우이고, 나머지 10개는 모두 비연결 집단에서 발생하였다. 그러나 이러한 평가는 단순히 본 연구에서 유도된 판별식의 정도를 파악하고자 하는 것이 아니다. 더욱 중요한 부분이 왜 그러한 오판별이 발생했는지를 파악하는데 있다. 특히 오판별 사례 대부분이 비연결 집단에서 발생했다는 것은 오판별 사례의 분석을 통해 도로-하천 연결을 방해하는 방안의 도출이 가능하다는 것을 의미하는 결과이기도 하다.

본 연구의 경우, 오판별의 원인은 배수구 방향 변경, 배수 유량 과다, 그리고 도로-하천 사이의 물길경로 변경 등에 따른 것으로 나타났다. 이러한 결과는 배수구 방향 조정, 배수 구간 간격의 조절을 통한 유량 조절, 그리고 도로-하천 사이의 물길 경로 변경을 통한 물길거리 및 물길경사의 조절을 통해 도로-하천 연결을 유도하거나 또는 방해할 수 있다는 것을 의미한다. 특히, 도로-하천 연결의 방해는 도로면에 쌓인 오염 물질이 여과없이 인근 하천에 유입되는 것을 차단하는 역할을 한다. 따라서 국립공원이나 상수도보호구역 등과 같이 하천수질의 엄격한 관리가 필요한 지역에서는 신규 도로의 건설이나 기존 도로의 개선 시 도로-하천의 직접연결 가능성을 미리 파악하고, 필요시 이를 방해할 수 있는 방안들을 제시하게 할 필요가 있다.

사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것입니다 (KRF-2008-313-D01083). 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

국립환경연구원(1992). *비점오염원 유출부하량 조사지침*.
 김이형(2007). 비점오염의 현황 및 적정 처리용량 산정을 위한 초기강우 기준 설정. *한국도로학회지*, 9(2), pp. 12-21.
 김이형, 강주현(2004). 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준. *수질보전 한국물환경학회지*, 20(6), pp. 641-646.
 김이형, 이선하(2005). 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs. *수질보전 한국물환경학회지*, 21(4), pp. 385-392.
 김이형, 이은주, 고석오, 강희만(2006a). 아스팔트 포장 고속도로의 강우 지속시간별 오염물질 유출 경향. *한국도로학회지*, 8(1), pp. 99-106.
 김이형, 고석오, 이병식, 김성길(2006b). 국내 고속도로 강우 유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정. *대한토목학회 논문집*, 26(2), pp. 225-231.
 김이형, 이은주, 고석오, 김성길, 이병식, 이주광, 강희만(2006c). 동적 EMC를 이용한 고속도로 초기우수 처리 기준 설정. *수질보전 한국물환경학회지*, 22(2), pp. 294-299.
 박현정(2005). *다변량 통계 방법의 이해*, 화연사.
 이관호(2007). 비점오염원을 고려한 환경친화적 도로 유지관리 방안. *한국도로학회지*, 9(2), pp. 10-11.

- 이근상, 박진혁, 황의호, 고덕구(2004). GIS기반 토사유실모델을 이용한 저수지 사면의 토사유실 영향 분석. *한국지리정보학회지*, 7(3), pp. 108-117.
- 이수영, 사공명, 황선근, 김현기(2005). 철도연변 절취 토사 사면에 대한 강우에 의한 침투를 고려한 사면안정해석법의 적용성 평가. *한국지반공학회지*, 21(6), pp. 137-146.
- 정충영, 최이규(1998). (Windows용 SPSS) SPSSWIN을 이용한 통계분석, 무역경영사.
- 조용욱, 이동진, 김용구, 권순용, 이준형, 조성혜(2004). 제천시 시가지의 비점오염원 현황 및 저감방안. *세명대학교 환경공학과 졸업논문집*, 2, pp. 64-83.
- 한국환경정책평가연구원(2002). 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안.
- Anderson, B. and Potts, D. F. (1987). Suspended sediment and turbidity following road construction and logging in western Montana. *Water Resources Bulletin*, 23, pp. 681-690.
- Barrett, M. E., Irish, Jr. L. B., Malina, Jr. J. F., and Charbeneau, R. J. (1998). Characterization of highway runoff in Austin, Texas area. *Journal of Environmental Engineering*, 124(2), pp. 131-137.
- Becher, K. D., Schnoebelen, D. J., and Akers, K. K. B. (2000). Nutrients discharged to the Mississippi river from eastern Iowa watershed, 1996-1997. *Journal of The American Water Resources Association*, 36(1), pp. 161-173.
- Bilby, R. E., Sullivan, K., and Duncan, S. H. (1989). The generation and fate of road-surface sediment in forested watershed in southwestern Washington. *Forest Science*, 35(2), pp. 453-468.
- Charbeneau, R. J. and Barrett, M. E. (1998). Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *Journal of Water Environmental Research*, 70(7), pp. 1295-1302.
- Croke, J., Hairsine, P., and Fogarty, P. (1999a). Runoff generation and redistribution in logged eucalyptus forests, southeastern Australia. *Journal of Hydrology*, 216, pp. 55-77.
- Croke, J., Hairsine, P., and Fogarty, P. (1999b). Sediment transport, redistribution and storage on logged forest hillslopes in south eastern Australia. *Hydrological Processes*, 13, pp. 2705-2720.
- Croke, J., Fogarty, P., Mockler, S., Nethery, M., and Brophy, J. (1999c). Forest roads: and we tar them all with the same brush? *Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology Report*, 99/6, pp. 13-18.
- Croke, J. and Mockler, S. (2001). Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, Southeastern Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp. 205-217.
- Fahey, B. D. and Coker, R. J. (1989) Forest road erosion in the granite terrain of southwest Nelson. *Journal of Hydrology (N.Z.)*, 28(2), pp. 123-141.
- Grayson, R. B., Haydon, S. R., Jayasuriya, M. D. A., and Finlayson, B. L. (1993). Water quality in mountain ash forests - separating the impacts of roads from those for the logging operations. *Journal of Hydrology*, 150, pp. 459-480.
- Jonhson, F. L. and Chang, F. F. M. (1984). *Drainage of Highway Pavement*. Hydraulic Engineering Circular No. 12.
- Montgomery, D. R. (1994). Road surface drainage, channel initiation, and slope instability. *Water Resources Research*, 30(6), pp. 1925-1932.
- Normann, J. M., Houghtalen, R. J., and Johnston, W. J. (1985). *Hydraulic Design of Highway Culverts*, Hydraulic Design Series No. 5.
- Novotny, V. and Chesters, G. (1989). Delivery of sediment and pollutants from non-point sources: a water quality perspective. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44, pp. 568-576.
- NSW State Forests EIS. (1994). *New South Wales State Forests Environmental Impact Assessment for the Eden Management Area*. State Forests NSW Planning and Environmental Division: Sydney.
- Reid, L. M. and Dunne, T. (1984). Sediment production from forest road surfaces. *Water Resources Research*, 20, pp. 1753-1761.
- U.S. EPA (1994). *Nonpoint Sources Pollution Control Program*. U.S. EPA, Report 841-F94-005, USA.
- Wemple, B. C., Jones, J. A., and Grant, G. E. (1996). Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 32(6), pp. 1195-1207.