

도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구

Development of a New Terrain Type Classification to be used in Highway Design

한형관* · 김상엽** · 최제성*** · 이승용**** · 이철수*****

Han, Hyung Gwan · Kim, Sang Youp · Choi, Jai Sung · Lee, Seung Yong · Lee, Chul Soo

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

지금까지의 우리나라의 도로건설은 개발하기 쉬운 평지 및 대도시 중심으로 이루어졌으나 최근 전국토의 65%에 해당하는 산지의 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 또, 국토 균형 발전 및 친환경적인 도로 건설이 점차 이슈화됨에 따라 자연과 인간 그리고 도로가 공존할 수 있는 산지부 도로 건설의 중요성이 커지고 있다. 이러한 배경에서 산지부 도로 건설을 위해 가장 시급한 것은 지형구분이라 판단된다. 지형구분이 정확하지 않으면 도로설계속도가 부정확하게 결정될 수 있기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 현행 도로 설계에서 지형구분에 대한 관련기준을 검토한 후, GIS data의 분석을 통한 우리나라의 지형분포 자료를 바탕으로 각 지형별 주행속도 자료를 연관시켜 분석함으로써 새로운 지형구분 기준을 제시하고자 한다.

1.2 연구 수행 방법

본 연구에서는 새로운 지형구분 기준을 제시하기 위해 국내·외 도로설계기준을 검토하였다. 다양한 도로설계 기준 중 지형과 가장 관계가 깊은 설계요소가 종단경사라 판단하였으며, 그에 따라 종단경사 및 등판성능 곡선도(경사-속도도)에 대해 검토하였다. 그리고 도로설계와 관련하여 지형을 구분에 대한 기존의 연구 자료가 거의 없는 상황이기 때문에 도로설계 분야의 이외의 도시계획 및 지리 정보(GIS) 분야의 지형구분 방법 및 지형구분 사례를 고찰하였다.

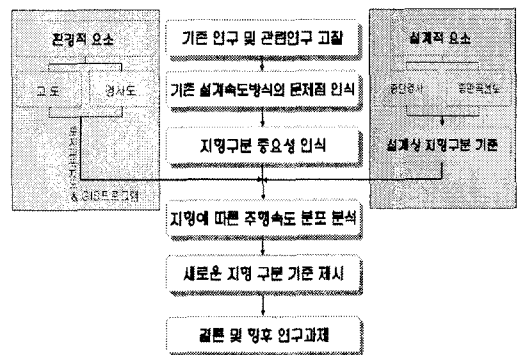


그림 1. 본 연구의 연구수행방법

2. 이론적 고찰 및 해외사례 검토

2.1 국내·외 관련 기준 검토

먼저, 국내·외 도로설계 기준을 살펴보고, 이 기준들의 내용 중에서 표 1과 같이 지형과 밀접한 관련이 있는 종단경사와 차량의 등판성능 곡선도를 검토하였다.

* (주)한택기술 전무 02-2141-7106
 ** 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 공학석사 02-2210-2990
 *** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 02-2210-2522
 **** 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 02-2210-2990
 ***** 한국도로공사 기술심사실, 실장 02-2230-4190

표 1. 각국별 종단경사기준 및 등판성능곡선도

구분	종단경사기준	등판성능곡선도																																																																																																					
우리나라	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">설계속도 (km/h)</th> <th colspan="2">고속도로</th> <th colspan="2">간선도로</th> <th colspan="2">집산도로</th> <th colspan="2">국지도로</th> </tr> <tr> <th>평지</th> <th>산지</th> <th>평지</th> <th>산지</th> <th>평지</th> <th>산지</th> <th>평지</th> <th>산지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>70</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>60</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td>9</td> <td>7</td> <td>11</td> <td>7</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7</td> <td>12</td> <td>8</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	설계속도 (km/h)	고속도로		간선도로		집산도로		국지도로		평지	산지	평지	산지	평지	산지	평지	산지	80	4	6	4	7	6	9			70			5	7	7	10			60			5	8	7	10	7	13	50			5	8	7	10	7	14	40			6	9	7	11	7	15	30					7	12	8	16	20								8	<p>- 도로의 기능 및 지형, 설계속도 고려 - 지형상황, 주변지장을 및 경제성을 고려하여 경우에 따라 1% 더한 값을 적용</p>																					
설계속도 (km/h)	고속도로		간선도로		집산도로		국지도로																																																																																																
	평지	산지	평지	산지	평지	산지	평지	산지																																																																																															
80	4	6	4	7	6	9																																																																																																	
70			5	7	7	10																																																																																																	
60			5	8	7	10	7	13																																																																																															
50			5	8	7	10	7	14																																																																																															
40			6	9	7	11	7	15																																																																																															
30					7	12	8	16																																																																																															
20								8																																																																																															
미국	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">지형</th> <th colspan="5">설계속도 (km/h)</th> </tr> <tr> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">FHWA-간</td> <td>평지</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>구릉지</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td>6</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>산지</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">도시부</td> <td>평지</td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>구릉지</td> <td></td> <td></td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>산지</td> <td></td> <td></td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">FHWA-전</td> <td>평지</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>구릉지</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>산지</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">도시부</td> <td>평지</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>구릉지</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>산지</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	구분	지형	설계속도 (km/h)					30	40	50	60	70	80	FHWA-간	평지				5	5	4	구릉지				6	6	5	산지				8	7	7	도시부	평지			8	7	6	6	구릉지			9	8	7	7	산지			11	10	9	9	FHWA-전	평지	7	7	7	7	7	6	구릉지	10	10	9	8	8	7	산지	12	11	10	10	10	9	도시부	평지	9	9	9	9	8	7	구릉지	12	12	11	10	9	8	산지	14	13	12	12	11	10	<p>- 도로의 기능과 지역, 지형 고려 - 차량의 등판능력과 도로 환경을 고려해서 적용한 값으로 국내 기준과 거의 동일</p>
구분	지형			설계속도 (km/h)																																																																																																			
		30	40	50	60	70	80																																																																																																
FHWA-간	평지				5	5	4																																																																																																
	구릉지				6	6	5																																																																																																
	산지				8	7	7																																																																																																
도시부	평지			8	7	6	6																																																																																																
	구릉지			9	8	7	7																																																																																																
	산지			11	10	9	9																																																																																																
FHWA-전	평지	7	7	7	7	7	6																																																																																																
	구릉지	10	10	9	8	8	7																																																																																																
	산지	12	11	10	10	10	9																																																																																																
도시부	평지	9	9	9	9	8	7																																																																																																
	구릉지	12	12	11	10	9	8																																																																																																
	산지	14	13	12	12	11	10																																																																																																
일본	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">설계속도 (km/h)</th> <th colspan="4">구분</th> </tr> <tr> <th>표준</th> <th>부득이한 경우</th> <th>적설한내심한지역</th> <th>기타지역</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>7.5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>8</td> <td>11</td> <td>7.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>7.5</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	설계속도 (km/h)	구분				표준	부득이한 경우	적설한내심한지역	기타지역	80	4	7	6	6	60	5	8	7	8	50	6	9	7	8	40	7	10	7.5	8	30	8	11	7.5	10	20	9	12	7.5	10	<p>- 차량의 등판능력과 지형, 지역적 특성을 고려 - 일반 기준 외 특례치를 적용하여 종단경사를 적용</p>																																																														
설계속도 (km/h)	구분																																																																																																						
	표준	부득이한 경우	적설한내심한지역	기타지역																																																																																																			
80	4	7	6	6																																																																																																			
60	5	8	7	8																																																																																																			
50	6	9	7	8																																																																																																			
40	7	10	7.5	8																																																																																																			
30	8	11	7.5	10																																																																																																			
20	9	12	7.5	10																																																																																																			
호주	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Design Speed (km/h)</th> <th colspan="3">Terrain (단위: %)</th> </tr> <tr> <th>Flat</th> <th>Rolling</th> <th>Mountainous</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60</td> <td>6-8</td> <td>7-9</td> <td>9-10</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>4-6</td> <td>5-7</td> <td>7-9</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>3-5</td> <td>4-6</td> <td>6-8</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>3-5</td> <td>4-6</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※10%이상의 종단경사는 주의해야 함.</p>	Design Speed (km/h)	Terrain (단위: %)			Flat	Rolling	Mountainous	60	6-8	7-9	9-10	80	4-6	5-7	7-9	100	3-5	4-6	6-8	120	3-5	4-6		<p>- 교통량이 적은 산지부 도로에 대한 특례치 고려</p>																																																																														
Design Speed (km/h)	Terrain (단위: %)																																																																																																						
	Flat		Rolling	Mountainous																																																																																																			
	60	6-8	7-9	9-10																																																																																																			
80	4-6	5-7	7-9																																																																																																				
100	3-5	4-6	6-8																																																																																																				
120	3-5	4-6																																																																																																					
영국	<table border="1"> <thead> <tr> <th>도로의 기능</th> <th>최대 종단경사</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Motorways</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>AP Dual Carriageways</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>AP Single Carriageways</td> <td>6%</td> </tr> </tbody> </table>	도로의 기능	최대 종단경사	Motorways	3%	AP Dual Carriageways	4%	AP Single Carriageways	6%	<p>- 예외적으로 구릉이 심한지역에서는 높은 경사 적용 가능</p>																																																																																													
도로의 기능	최대 종단경사																																																																																																						
Motorways	3%																																																																																																						
AP Dual Carriageways	4%																																																																																																						
AP Single Carriageways	6%																																																																																																						

2.2 관련 문헌 검토

가. 국도확장사업을 위한 적정 도로 설계 방안 연구(최재성, 2004)

최재성은 '국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안 연구'에서 GIS Data를 바탕으로 우리나라 일반국도의 기능분류 및 지형, 지역을 구분하여 제시하였다. 지형구분은 고도의 분포 및 누적분포 자료를 바탕으로 이루어졌으며 표 2와 같이 평지, 구릉지, 산지 세 가지로 구분하고 있다.

표 2. 최재성의 연구에 따른 지형구분 기준

지형	기준
평지	100m이하, 경사도 5°이하
구릉지	100m~400m
산지	400m이상



나. DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석

이금삼·조화룡(한국GIS학회)은 'DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석'에서 국내 지형을 경사도와 고도에 따라 분류하고 있다. 이 연구는 차량주행특성이 고려되지 않은 지형구분이라는 한계점이 있다.

표 3. DEM을 이용한 국토의 경사도 분석

지형	경사	지형	고도
평탄지	0°-1°	평야	150m이하
파랑성평야	1°-5°	구릉지	150m-500m
완경사지	5°-10°		
준완경사지	10°-15°	산지	500m-1000m
준급경사지	15°-20°		
급경사지	20°이상	고산지	1000m이상

출처: 이금삼, 조화룡, DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석, 한국지리정보학회지 3권 1호, 2000.

다. 일본도시계획학회의 지형 구분

일본도시계획학회는 경사와 구배에 따라 지형을 평지-구릉지-산지로 구분을 하였다. 구릉지는 해발300m이하, 경사도 5~20°사이의 저산성 산지로 정의하고 있으며 지형 구분은 표 4와 같다. 그러나 이 기준 또한 차량주행특성과 지형구분 간 연관성에 대한 고려가 이루어지지 않았다.

표 4. 일본도시계획학회의 지형 구분 기준

구분	경사	구배
평탄지	5°이하	10%이하
구릉지B	5°~15°	10%~30%
구릉지A	15°~20°	30%~40%
산지	20°이상	40이상

3. 지형구분을 위한 지형 특성 도출

3.1. 현행 설계상의 문제점

지형구분의 기준 불명확하여 도로설계시 지형에 대한 합리적이고 세부적인 고려가 이루어지지 않음에 따라 도로 건설상의 경제적·환경적인 문제를 유발하고 있으며, 한국개발연구원⁸에 의하면, 현재 국내 산지부에 적용되는 설계속도 및 설계 기준이 비교적 높게 적용되고 있다고 지적하고 있다. 또한 최재성⁷은 국내 지형구분의 기준이 미비하고 단순한 지형구분을 하고 있어, 지형구분 세분화의 필요성을 강조하고 있다. 현재 국내의 지형구분 기준은 평지, 산지로 지형구분이 지나치게 단순화 되어 있다.

3.2. 지형구분시 고려되어야 할 요소

도로설계시 지형의 구분은 설계노선 및 각종 시설물의 설계기준에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 합리적인 도로설계를 위해서는 지형구분이 정확하게 이루어져야하며, 지형 구분시 고려되어야 할 중요한 요소는 고도 및 경사도라 판단된다.

3.3. 지형구분 요소 기준 정립

본 연구에서는 지형구분시 고려되어야 할 요소를 고도, 경사도로 판단하고 각종 문헌 고찰 내용을 바탕으로 우리나라에 적합한 지형구분 기준을 제시하고자 한다.

첫째, 지형분류에 따른 고도의 기준은 GIS 를 바탕으로 한 “국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안 연구”와 한국토지공사의 ‘환경친화적 산지·구릉지 개발기법 연구(2000.11)’ 등을 참고하여 표 5에 제시하였다. 이는 우리나라의 고도 분포와 공간적 특성을 바탕으로 분류된 결과 값이다. 둘째, 경사도에 대한 기준은 각국의 지형별 종단경사 기준 및 차량의 등판 성능 곡선도를 바탕으로 기준을 정립하였다. 각국의 차량의 등판을 검토한 바 종단경사가 3%이하일 경우에는 차량 속도가 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 그에 따라 경사에 대해 특별한 고려가 필요 없는 종단경사 3%이하의 지형을 한 그룹으로 분류하였다. 그리고 산지와 같은 경사가 심한 지역은 설계속도가 낮기

표 5. 지형 구분 기준 (고도)

지형	고도
Height 1	0~100m
Height 2	400m이하
Height 3	400m이상



때문에 종단경사 기준 검토시, 설계속도가 80km/h, 60km/h 일 때의 종단 경사 기준을 검토하였다. 그 결과, 본 연구에서는 지형에 따른 종단경사의 적용 기준을 표 6과 같이 결정하였다. 셋째, 추가적으로 고도와 경사도 이외에 경사의 길이에 대해 고려되어야 한다. 왜냐하면, 종단경사의 크기와 더불어 경사의 길이는 주행차량에 영향을 미치기 때문이다. 즉, 상당한 급경사라도 단구간이면 교통류에 미치는 영향은 작고 역으로 구배가 작아도 구배길이가 길면 영향이 크기 때문이다.

또한, 일본의 도로 설계 기준¹²은 종단경사의 길이가 차량 주행의 안전성과 쾌적성에 영향을 미친다고 판단하여 경사별 등판 가능 거리표를 제시하고 있으며, 표 7과 같다.

표 6. 지형 따른 종단 경사 적용 기준

지형	경사	비고
Slope 1	0%~3%	속도변화가 거의 일어나지 않음
Slope 2	3%~9%	경사도에 따른 속도변화 정도가 적음
Slope 3	9%이상	경사도에 따른 속도변화 정도가 매우 큼

표 7. 종단경사별 등판 가능 거리표 (일본) (단위:m)

설계속도(km/h)	80	60	50	40	
시단속도(km/h)	80	60	50	40	
허용속도(km/h)	40	30	30	25	
종단경사 (%)	5	760			
	6	520	490		
	7	410	320	230	
	8		240	170	130
	9			130	100
	10				80

따라서, 본 연구에서는 경사의 길이가 80m이인 지형에 대해서 고도와 경사도의 기준을 적용하여 지형을 분석하도록 한다.

4. 관련자료 분석을 통한 지형구분

4.1 GIS Data를 통한 분석

가. 고도/경사 자료 구축

본 연구에서는 지형의 고도 및 종단경사 적용기준을 바탕으로 지형을 구분하기 위해서 국립지리원의 수치고도자료를 활용하였으며 GIS 구축과정은 최⁶의 연구와 동일한 방법을 사용하였으며, 이렇게 구축된 한반도 전체의 수치고도자료를 Idrish Killimanjaro 에서 지원하는 경사 계산법에 의거하여 경사도를 계산하여 경사도 Data를 구축하였다.

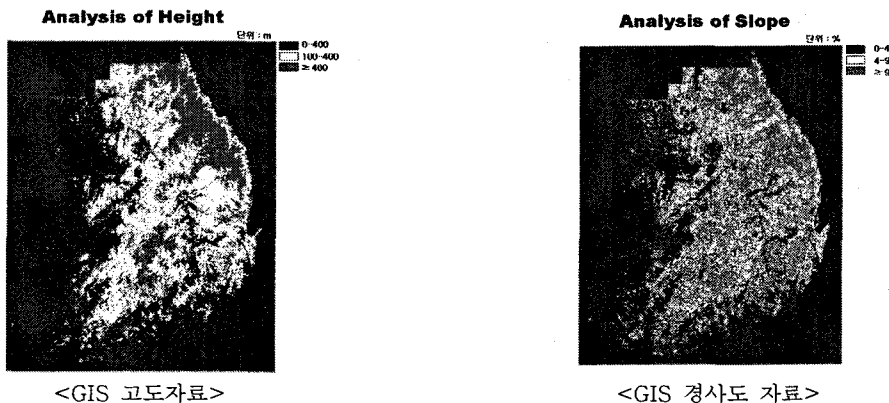


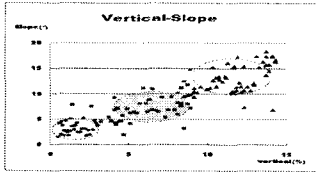
그림 2. 한반도 수치고도자료 및 경사도 자료

나. GIS data 분석

3장에서 제시한 지형별 종단경사 기준은 실제 지형(지반고)의 경사가 아닌 도로의 종단경사 수치이다. 따라서 경사에 따라 실제 지형을 구분하는 기준으로는 적절치 못하므로, 본 연구에서는 도로 상의 종단경사와



실제 경사의 관계를 분석하기 위해 교통주제도와 경사도 자료를 중첩시켰다. 이렇게 구축된 GIS data를 바탕으로 일반국도 상의 종단경사와 실제 경사도 간의 관계를 살펴보았으며, 도로의 종단경사 기준과 실제 경사 분포를 나타내는 산포도 자료에서 이상점을 제거하여 Grouping한 결과 그림 3의 결과를 도출하였다.



종단경사	Matching	실제 지형 경사도
0%~3%	▶	0°~5°
3%~9%	▶	5°~10°
9% 이상	▶	10°이상

그림 3. 종단경사와 실제 지형 경사도

지금까지 관련 문헌 검토와 GIS data 분석 결과를 바탕으로 새롭게 도출한 지형 구분 기준을 한반도 전체에 적용하였으며 과정은 다음과 같다.

① 분류 기준에 따라 9개의 지형 분류

표 8. 분류 기준에 따른 지형 Case

구분	0~100m	400m이하	400m이상
0°~5°	AREA 1	AREA 2	AREA 3
5°~10°	AREA 4	AREA 5	AREA 6
10°이상	AREA 7	AREA 8	AREA 9

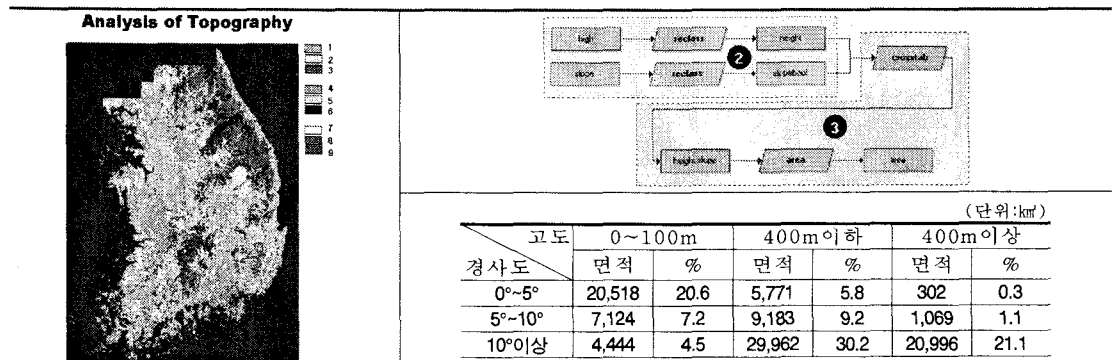
② 수치고도 자료와 경사도 자료 분류

구축된 수치고도 자료와 경사도 자료를 Idrish Killimanjaro의 Reclass기능을 이용하여 분류하였다.

③ 분류된 고도자료와 경사도 자료를 조합하여 9개의 AREA로 구분하고 면적 및 분포 분석

위 과정을 Macro moduler를 작성하여 실행한 결과, 한반도의 지형 분류자료 구축하였으며 AREA 구분에 따른 분포를 제시하였다. Macro moduler, AREA 분류자료 그리고 AREA별 면적 및 분포는 표 9와 같다.

표 9. 지형 구분도/Macro moduler/지형구분에 따른 분포 결과



4.2 지형분류 Case와 주행속도간의 관계

지금까지의 과정을 통해 우리나라의 지형을 고도와 경사도에 의해 분류하였다. 그 다음으로 본 연구에서는 분류된 지형이 실제 도로 주행에 미치는 영향을 살펴보고 그 결과를 바탕으로 일반화된 지형 구분 기준을 제시한다. 새로운 지형 구분 기준과 주행속도간 상관관계 분석을 위해 최⁶의 '환경 친화적 도로 설계를 위한 기초연구(2005)'에 이용된 주행속도 자료를 이용하였다.

가. 주행속도 조사

대부분의 속도분포가 정규분포를 따르기 때문에 신뢰도 95%, 속도표준편차 10kph, 속도의 허용오차

±2.0kph 이내의 범위로 하여 표본수를 산정하였으며, 위 최재성 연구의 표본 수는 통계적 분석에 필요한 표본 수 100개보다 다소 많은 130개이다. 분석에 이용된 속도 자료는 다음과 같은 조건에 의해 선별되었다.

① 과속 차량 속도 자료는 속도분포를 높은 분포로 편중시킬 수 있으므로 제외시킨다.

② 차량군에 앞선 차량을 뒤따르는 차량의 속도를 포함하는 것은 낮은 속도분포로 편중시킬 수 있으므로 제외시킨다.

$$N = \left(\frac{K \times S}{E} \right)^2$$

여기서,
 N: 필요한 표본수
 K: 통계신뢰도계수
 정규분포에서 신뢰구간 68%인 경우 K = 1.0
 정규분포에서 신뢰구간 95%인 경우 K = 2.0
 정규분포에서 신뢰구간 99%인 경우 K = 3.0
 S: 속도표준편차 (대부분의 속도분포는 표준편차가 5~10kph이다.)
 E: 속도의 허용오차

나. 지형과 주행속도과의 Matching

본 연구 수행을 위하여, 일반국도의 주행속도 자료를 구축해 놓은 지점의 조건은 일반국도의 양방향 2차로 도로이며, 차로폭은 2.8m~4.0m, 길어깨폭은 0.3m~4.0m이다. 조사된 자료의 지점을 전국 일반국도 지도에 표시하면 그림 4와 같다. 본 연구에서 양방향 2차로에 대해 130개의 지점을 GIS-data에 매칭(Matching)시킨 이유는, 각 지점의 주행속도를 구축한 새로운 AREA에 적용시키기 위해서이다.

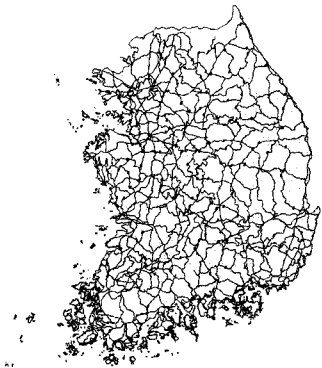


그림 4. 주행속도 자료 지점 현황

다. 분석 과정의 개요

고도와 경사에 따른 9가지 분류와 일반국도의 주행속도 관계에 대한 분석을 실시하기 위해 이미 구축한 고도-경사도 자료와 주행속도의 data를 matching 하였다. 지형구분도 상의 9개 지형 중 AREA 3의 경우 전체 지형에서 차지하는 비율이 매우 적기 때문에, AREA 3에 대해서는 분석을 실시하지 않았다.

본 연구에서 수행하여야 할 지형 분류(AREA)에 따른 속도차의 유의성을 검정하기 위하여 분산분석(ANOVA)을 사용하였고, 이러한 분석을 수행하기 위해서 선결되어야 할 가정은 다음과 같다. ① 종속변수가 양적변수여야 한다, ② 정규성(Normality) : $e \sim N(0, \sigma^2)$, ③ 등분산성(Equality of Variance) : $Var(e1) = Var(e2) = \dots = Var(en)$. ①의 경우 종속변수는 주행속도이므로 만족한다. 이 값은 통계적 분석을 통해 정규성과 등분산성을 만족함을 검증하였다.

라. AREA 분류에 따른 속도차의 유의성 검정

고도와 경사도에 따라 정의한 여덟 그룹에 대한 평균속도를 $\mu(i=1,2,4,5,6,7,8,9)$ 라 할 때, 각 지점에서의 AREA 분류에 따라 속도에 미치는 영향을 분산분석(ANOVA)을 통해, 분석 대상인 모든 지점에서 F검정의 결과, 유의수준 0.05에서 평균속도가 같다는 귀무가설이 기각되었다. 결국, 본 연구에서 정의한 AREA 분류에 따라 평균속도의 차가 큼을 알 수 있었으며, 분산분석에서 각 수준간의 차이가 있다는 결론을 얻었다. 그러나 그 차이가 어느 집단 간에서 나타나는지 살펴보기 위해, Tukey의 HSD 다중비교방법을 이용하여 분석한 결과, 집단 간 평균값의 차이가 크게 발생하지 않는 경우가 생겼다.

표 10에서 각 집단 간 평균값의 차를 알 수 있으며, 집단 간 유의여부를 판단할 수 있다. AREA 1의 경우, AREA 2와 AREA 4와는 5% 유의수준에서 평균속도가 유사할 뿐 나머지 AREA와는 평균속도차가 큰 것을 알 수 있다. 반면, AREA 9의 경우는 AREA 6과 AREA 8과 평균속도가 유사한 것을 알 수 있다. Tukey의 HSD 다중비교의 결과값과 지형 구분에 따른 주행속도 분포는 그림 5와 같다.

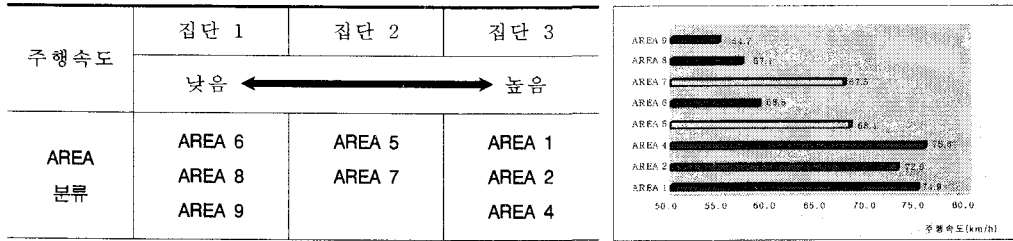


그림 5. AREA에 따른 주행속도의 분포

표 10. 다중비교(Tukey HSD)

집단 I	집단 II	평균차 (집단 I - 집단 II)	표준 오차	유의 확률	95%신뢰구간		
					하한값	상한값	
AREA 1	AREA 2	2.0405	1.3798	0.818	-2.176	6.257	
	AREA 4	-0.7026	1.7425	1.000	-6.028	4.623	
	AREA 5	6.7863	1.3996	0.000	2.509	11.064	
	AREA 6	16.0399	1.4627	0.000	11.548	20.531	
	AREA 7	7.3561	2.0124	0.007	1.206	13.506	
	AREA 8	17.7461	2.4592	0.000	10.231	25.262	
	AREA 9	20.1414	1.9631	0.000	14.142	26.141	
	AREA 4	AREA 1	-2.0405	1.3798	0.818	-6.257	2.176
	AREA 4	AREA 2	-2.7431	1.8709	0.825	-8.461	2.975
AREA 2	AREA 5	4.7458	1.5566	0.041	-0.011	9.503	
	AREA 6	13.9993	1.6198	0.000	9.049	18.950	
	AREA 7	5.3156	2.1246	0.019	-1.177	11.808	
	AREA 8	15.7056	2.5518	0.000	7.907	23.504	
	AREA 9	18.1008	2.0780	0.000	11.750	24.451	
	AREA 1	AREA 2	0.7026	1.7425	1.000	-4.623	6.028
	AREA 2	AREA 4	2.7431	1.8709	0.825	-2.975	8.461
	AREA 2	AREA 5	7.4889	1.8856	0.002	1.726	13.251
	AREA 2	AREA 6	16.7425	1.9381	0.000	10.819	22.666
AREA 4	AREA 7	8.0587	2.3762	0.018	0.797	15.321	
	AREA 8	18.4487	2.7648	0.000	9.999	26.898	
	AREA 9	20.8440	2.3346	0.000	13.709	27.979	
	AREA 1	AREA 4	-6.7863	1.3996	0.000	-11.064	-2.509
	AREA 1	AREA 2	-4.7458	1.5566	0.041	-9.503	0.011
	AREA 1	AREA 4	-7.4889	1.8856	0.002	-13.251	-1.726
	AREA 1	AREA 6	9.2536	1.6367	0.000	4.252	14.256
	AREA 1	AREA 7	0.5698	2.1375	1.000	-5.963	7.102
	AREA 1	AREA 8	10.9598	2.5626	0.001	3.128	18.791
AREA 1	AREA 9	13.3551	2.0912	0.000	6.964	19.746	
AREA 5	AREA 1	-6.7863	1.3996	0.000	-11.064	-2.509	
	AREA 2	-4.7458	1.5566	0.041	-9.503	0.011	
	AREA 4	-7.4889	1.8856	0.002	-13.251	-1.726	
	AREA 6	9.2536	1.6367	0.000	4.252	14.256	
	AREA 7	0.5698	2.1375	1.000	-5.963	7.102	
	AREA 8	10.9598	2.5626	0.001	3.128	18.791	
	AREA 9	13.3551	2.0912	0.000	6.964	19.746	
	AREA 2	AREA 5	-16.0399	1.4697	0.000	-20.531	-11.548
	AREA 2	AREA 4	-13.9993	1.6198	0.000	-18.950	-9.049
AREA 6	AREA 4	-16.7425	1.9381	0.000	-22.666	-10.819	
	AREA 5	-9.2536	1.6367	0.000	-14.256	-4.252	
	AREA 7	-8.6838	2.1840	0.002	-15.358	-2.009	
	AREA 8	1.7062	2.6015	0.998	-6.244	9.657	
	AREA 9	4.1015	2.1387	0.540	-2.434	10.637	
	AREA 1	AREA 6	-7.3561	2.0124	0.007	-13.506	-1.206
	AREA 2	AREA 6	-5.3156	2.1246	0.019	-11.808	1.177
	AREA 4	AREA 6	-8.0587	2.3762	0.018	-15.321	-0.797
	AREA 5	AREA 6	-0.5698	2.1375	1.000	-7.102	5.963
AREA 7	AREA 6	8.6838	2.1840	0.002	2.009	15.358	
	AREA 8	10.9900	2.9424	0.011	1.398	19.382	
	AREA 9	12.7853	2.5424	0.000	5.016	20.555	
	AREA 1	AREA 7	-17.7461	2.4592	0.000	-25.262	-10.231
	AREA 2	AREA 7	-15.7056	2.5518	0.000	-23.504	-7.907
	AREA 4	AREA 7	-18.4487	2.7648	0.000	-26.898	-9.999
	AREA 5	AREA 7	-10.9598	2.5626	0.001	-18.791	-3.128
	AREA 6	AREA 7	-1.7062	2.6015	0.998	-9.657	6.244
	AREA 8	AREA 7	-10.3900	2.9424	0.011	-19.382	-1.398
AREA 9	AREA 7	-2.3953	2.9089	0.992	-6.495	11.285	
AREA 8	AREA 1	-20.1414	1.9631	0.000	-26.141	-14.142	
	AREA 2	-18.1008	2.0780	0.000	-24.451	-11.750	
	AREA 4	-20.8440	2.3346	0.000	-27.979	-13.709	
	AREA 5	-13.3551	2.0912	0.000	-19.746	-6.964	
	AREA 6	-4.1015	2.1387	0.540	-10.637	2.434	
	AREA 7	-12.7853	2.5424	0.000	-20.555	-5.016	
	AREA 8	AREA 8	-2.3953	2.9089	0.992	-6.495	11.285
	AREA 9	AREA 8	-2.3953	2.9089	0.992	-6.495	11.285
	AREA 9	AREA 1	-20.1414	1.9631	0.000	-26.141	-14.142

음영부분 : 두 AREA간에 5% 유의수준에서 속도차가 있음

5. 지형 구분 기준 제시

본 연구에서는 지형분류(AREA)와 주행속도와의 분산분석을 통하여 나온 결과를 바탕으로 동질성을 갖는 AREA간에 그룹을 만들어 표 11과 같이 지형구분 기준을 제시한다.

표 11. 본 연구의 새로운 지형 구분 기준

지형	기 준	구분	0~100m	400m이하	400m이상
평지	100m이하/0°~10°, 400m이하/0°~5°의 지형	0°~5°	평지	평지	산지
구릉지	100m이하/10°이상, 400m이하/5°~10°의 지형	5°~10°	평지	구릉지	산지
산지	100m~400m/10°이상, 400m이상의 지형	10°이상	구릉지	산지	산지

본 연구에 따른 지형 구분 기준을 타 연구와 비교해 보면 다음과 같다.

- ① 고도에 따른 분류 기준 : 최재성의 연구와 분류 기준이 동일하며, 이금삼의 연구와 비교했을 경우, 50m~100m 가량 낮은 결과 값이다.
- ② 경사에 따른 분류 기준 : 평지에 대한 경사 분류 기준은 최재성의 연구와 일본도시계획학회가 제시하는 기준과 동일하다. 그리고 이금삼의 연구와 비교했을 때, 본 연구의 평지는 평탄지/파랑성 평야에 해당하며, 구릉지는 완경사지, 산지는 준완경사지 이상의 지형에 해당한다.
- ③ 지형분류(AREA)와 주행속도간의 관계 규명을 통한 지형구분 : 고도와 경사를 조합한 분류를 이용하여 도로건설과 관계되는 지형적 특성을 다른 연구 기준에 비해 잘 나타낼 것으로 판단되며, 타 연구의 기준과 차이가 발생하는 것은 지형적 특성 이외에 주행속도 분포를 지형 구분에 적용하였기 때문이다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 지형에 부합하는 도로 건설의 중요성이 커지고 있는 상황을 인지하고 도로설계속도 결정에 지대한 영향을 미치는 지형구분 합리화방안 구축이 가장 시급한 과제라고 판단하였다. 그에 따라 각국의 설계기준을 검토하고 수치고도자료와 GIS Program을 이용하여 구축한 지형을 고도와 경사도에 따라 각각 AREA로 분류하였다. 또한 이렇게 분류된 지형이 주행 환경에 미치는 영향을 살펴보기 위해 지형분류자료와 주행속도자료를 Matching하여 지형별 주행속도의 유의성을 검정하였다. 통계적 검정 결과 지형적 특성에 따라 뚜렷한 주행속도 차이가 나타났으며, 이는 본 연구에서 분류한 고도와 경사도가 주행속도에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 또한, 지형분류(AREA)와 주행속도 관계 규명을 통하여 3개의 동질적인 집단으로 구분하였으며, 3개의 집단에 대해 평지, 구릉지, 산지로 정의하였다. 본 연구는 일반국도를 대상으로 한 주행속도자료를 이용하였기 때문에 지방도나 군도 등 기능에 다른 도로에 대해서는 적용상의 한계가 있으나, 향후 도로건설시 도로가 통과하는 지역의 지형적 특성을 반영할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(1999), "국도기능분류 및 효율적 투자방안 연구", 건설교통부, p.95~p.99
2. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, p46~p48
3. 이금삼, 조화룡(2000), "DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석", 대한지리정보학회지, 제3권, 제1호, p.35~p.43
4. 한국토지공사(2000), 환경친화적 산지·구릉지 개발기법 연구
5. 심관보(2005), "기능재분류와 GIS-T를 이용한 도로 설계속도 적정화 방안", 서울시립대학교 박사논문, p.42~p.48.
6. 김상엽, 최재성(2005), 환경 친화적 도로 설계를 위한 기초 연구, 대한교통학회지 제23권 제7호, p17~p33
7. 최재성(2004), "국도확장사업을 위한 적정 도로설계 방안연구", 교통정책연구, 제11권, 제1호, 교통개발연구원, p.51~p.69.
8. 한국개발연구원(2002), "공공투자사업의 예산관리의 효율화 방안(II), 국도건설비합리화 방안", p.150~p.198
9. 건설교통부(2004), "환경친화적인 도로건설 편람"
10. AASHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
11. FHWA(1997) Flexibility in Highway Design, U.S. Dept. of Transportation, Washington, D.C.
12. 사단법인 일본 도로협회(1983), 일본 도로 구조령의 해설과 운용
13. AUSTRROAD(1993), Rural Road Design-Guide to the Geometric Design of Rural Roads