

## 도로 설계 지형 구분

### Terrain Classification for Road Design

|     |                |  |
|-----|----------------|--|
| 김용석 | Kim, Yong Seok | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 (E-mail : safeys@kict.re.kr) |
| 조원범 | Cho, Won Bum   | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : worber@kict.re.kr) |
| 김진국 | Kim, Jin Kug   | 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : jinkug@kict.re.kr)       |

#### ABSTRACT

Road design needs to ensure the economic justification and the preservation of nature by adapting road alignment to the natural terrain. Though current road design guideline only defines a flat and a mountainous terrain, classification including rolling terrain should be needed while considering the fact that about 25.8% of our land can be classified as rolling and the road design guideline of developed countries such as United States and Australia has a terrain classification including rolling in order to take a deep consideration on the natural environment. The study attempts to draw a criterion to classify the assumed three individual terrains in a quantitative way by using an index like the undulation of the original ground profile. The study carried out a case study based on a conceptual frame developed in the study as an approach to differentiate each terrain. As a result, the study suggests a criterion in that a flat terrain has less than 40 meters in the difference between the highest and the lowest point of original ground from 40 to 60 meters for rolling terrain, and greater than 60 meters for mountainous respectively.

#### KEYWORDS

road design, terrain classification, rolling terrain, undulation, road alignment

#### 요지

도로 설계는 자연 지형에 순응하도록 선형을 결정함으로써 경제적이며 환경적인 피해가 최소화되는 도로 건설이 이루어지도록 할 필요가 있다. 현 도로설계기준은 지형을 평지와 산지로만 구분하고 있으나 국토의 25.8%가 구릉지이며 미국이나 호주 등 선진국의 경우도 지형을 평지, 구릉지, 산지로 세분화하여 자연 지형에 최대한 부합되는 설계를 유도하고 있음을 감안 시 구릉지를 포함한 세분화된 기준이 필요하다. 본 연구는 원지반의 기복량을 지표로 세 가지 독립된 지형간의 구분 기준을 정량적으로 제시하였다. 세분화된 지형 정의를 전제로 지형을 구분할 수 있는 방안에 대한 개념적 틀을 세우고 이를 도로설계 사례분석 등을 토대로 검토하였다. 연구 결론으로, 평지는 설계 단위구간(1km) 내 지반고 최고점과 최저점의 차이가 40m 미만, 구릉지는 40~60m 이내, 산지는 60m를 초과하는 것으로 제안하였다.

#### 핵심용어

도로 설계, 지형 구분, 구릉지, 기복, 도로 선형

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경 및 목적

도로 설계는 자연 지형에 순응하도록 선형을 결정함으로써 경제적이며 환경적인 피해가 최소화되는 도로 건설이 이루어지도록 할 필요가 있다. 도로 선형 설계는 자연 지형 조건을 최대한 수용하는 것이 바람직하지만

도로 기능별로 요구되는 이동 관점의 서비스 수준이 있으므로 상호 보완적으로 검토될 필요가 있다. 이런 이유로 자연 지형만의 특성으로 지형을 구분하기에는 한계가 있으며, 실제 도로 계획 시 도로 기능을 최대한 유지 하되 자연 상태에 미치는 영향을 줄이는 방안을 동시에 검토할 필요가 있다. 현 도로설계기준은 평지와 산지로

양분하여 구분하고 있으나 국토의 25.8%를 차지하는 구릉지를 반영할 필요가 있고 미국이나 호주의 경우도 평지, 구릉지, 산지로 세분화하여 반영되는 점을 감안할 때 자연 지형에 보다 순응하고 탄력적 설계를 통한 효율적 도로 건설 관점에서 구릉지를 포함할 필요성이 높다. 본 연구는 지형구분을 평지, 구릉지, 산지로 세분화함을 전제로 도로 설계 실무에서 활용 가능한 지형 구분 기준을 연구하였다. 이를 통해 그동안 평지와 산지라는 양분된 지형 적용에 보다 유연성을 줄 수 있을 것으로 기대하며 설계 실무 관점에서 보다 정밀한 설계를 통해 자연 상태 보존과 도로 이동 서비스수준간의 균형 있는 접근이 가능할 것으로 기대한다.

## 1.2. 연구범위 및 방법

본 연구는 크게 유사 선행연구, 지형구분 기준 마련을 위한 방법론 구상, 도로 설계사례 분석, 도로지형 구분 기준 제안으로 나누어졌다. 유사 선행연구에서는 자연 지형에 관한 구분으로 사전적인 정의와 표고나 경사도를 이용하여 정의한 기존 연구들을 검토하였다. 도로 설계에 있어 지형의 의미와 유관 기준들에 대해서 국내 및 국외기준들을 개괄적으로 살펴보았다. 평지, 구릉지, 산지의 세분화된 지형을 전제로, 지형별 구분 기준을 마련하기 위한 개념적 구상과 접근방법을 검토하였다. 보다 현실적인 기준 도출을 위해 사례 분석 중심의 연구를 기획하고 구체적인 분석 방법론을 설정하였다. 결과적으로 도로설계 사례분석의 결과와 공학적 합리성에 기반을 둔 결과 검토를 통해 도로 설계 자료의 하나인 지반고의 특성을 이용하여 지형을 구분할 수 있는 방안을 제시했다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1. 자연 지형 구분

자연 지형 구분은 크게 사전적으로 정의하는 것과 정부 기관에서 토지 분류 목적으로 정의하는 것으로 나눌 수 있다. 지형에 대한 사전적 정의는 평지와 대비되는 구릉지와 산지의 특성을 정의하고 있다. 구릉지는 언덕으로서 일반적으로 해발 300m 이하로 비교적 경사면으로 되어 있는 저산성 산지로 정의하고, 산지는 고원, 구릉에 비해서 기복이 크고, 경사가 가파른 사면을 가지며, 넓은 면적을 보유하는 토지의 용기부로 정의되고 있다(대한주택공사, 1999). 정성적인 정의 이외에 표고와 경사도를 이용하여 정의한 경우도 있으며, 구릉지는 자

연 지형침식과 풍화작용으로 산지가 마모되어 경사 5~10°, 기복량(1km×1km)은 100m 이내로 된 지형이며, 산지는 경사가 7% 이상의 경사지로 고도 100m 이상, 기복량(1km×1km)이 100m 이상인 지형으로 정의하고 있다(건설부[현 국토해양부], 1999). 여기서 기복량은 일정범위 내의 고·저 차이를 나타내는 지표로, 단위면적 내의 최고점과 최저점의 높이 차를 의미한다.

이금삼과 조화룡(2000)은 GIS를 이용해서 한반도의 지형을 경사와 고도로 구분하는 연구를 수행했다. 이 연구는 국내 지형을 평탄지, 파랑성 평야, 완경사지, 준 완경사지, 준 급경사지, 급경사지로 구분하였으며, 고도를 이용한 분류로 평야는 150m 이하, 구릉지는 150~500m, 산지는 500~1000m, 고산지는 1000m 이상으로 제시하였다. 구릉지의 경사 범위는 5~10° 제시하였다(이금삼 등, 2000). 국토해양부에서 시행한 토지 분류조사에서는 우리나라 국토의 약 66.5%가 산지와 구릉지로 이루어져 있고, 세부적으로는 평야가 25.2%, 저지(低地)가 1.0%, 산지가 71.5%이다. 산지를 다시 산지, 구릉, 산록완사면으로 세분화하면 각각 43.9%, 25.8%, 1.8%를 점유하고 있다(건설부[현 국토해양부], 1982).

한국토지공사(2000)는 산지·구릉지에 자연친화적인 주택단지조성 시 경사지에서의 자연지형을 고려한 토공 계획과 도로, 상하수도 등 기반시설 설치와 관련된 기술상의 제약요건에 대해 제시하였다. 한국토지공사(2000)는 산지는 평지보다 우뚝 솟은 땅으로서, 해발 300m 이상은 산지, 그 이하는 구릉지로 정의하고 있으며, 산지의 경사도는 구조계획, 설비계획 등 건축의 하부구조뿐만 아니라 대지 내 건축물의 위치, 형태, 도로, 주차장, 놀이터의 배치 등 모든 계획에 영향을 미침을 제시하였다. 경사도에 따른 공간특성으로, 경사도 4°는 거의 평탄하게 보이며 이용 상 쾌적한 경사는 4~10°로 제시했다. 경사도 10~30°는 휴식과 전망에 부적당하고 계단의 설치가 필요하며, 경사도 10~30°는 넘으면 도로의 기울기는 급해지고 자동차의 등판한계에 가까워짐을 제시했다. 경사도 30~45°는 급사면이라고 정의할 수 있으며 30°를 넘으면 리프트(lift) 설치가 필요하고 경사도 45~90에서는 사다리나 승강 장치의 설치가 필요함을 제시했다(한국토지공사, 2000).

### 2.2. 지형과 도로설계

현 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에는 지형을 산지와 평지로 나누고 있으나 각각에 대한 정의 및 구분 기준은 제시되지 않았다. 동 규칙에서 지형은 설계속도

및 최대 종단경사를 결정하는 주요한 영향 요인으로 적용된다. 지방부 도로 간선도로에서 평지는 설계속도를 80km/h로 산지는 60km/h로 선정할 수 있도록 하고 있는 것이 그 예이다. 물론 설계속도는 지형만으로 결정되기 보다는 도로 기능이나 경제성, 자동차전용도로 여부 등을 종합적으로 고려하여 결정된다. 지형이 적용되는 또 다른 기준으로 최대 종단경사가 있으며 표 1과 같이 도로 기능별 유형, 설계속도, 지형에 따라 정의하고 있다.

지형은 도로 선형을 결정하는데 지배적인 영향을 주며, 선형은 크게 평면, 종단, 횡단으로 나눌 수 있다. 이 가운데 종단 선형은 자연 지형과 상호 밀접한 관계에 있다. 종단 선형 설계에 영향을 주는 요소는 지형뿐만 아니라 대상 도로의 기능, 교통량 등이 되며 지엽적으로는 하천, 교차 도로의 위치 등을 들 수 있다. 따라서 전반적인 자연 지형 조건에 의해 지형 구분이 이루어진 경우에도 지엽적인 여건들을 종합적으로 판단하여 종단경사를 결정하게 된다.

AASHTO(2004)는 지형을 평지, 구릉지, 산지로 구분하고 정성적 정의를 제시하고 있다. 평지에 대해 시공 상의 어려움 없이 자연 지형조건에 의해 도로 시거 확보가 가능한 지형으로, 구릉지는 자연지반과 도로계획고간 차이가 일정하게 반복적으로 변화되며, 간헐적인 급경사로 인해 도로선형 구현에 어려움이 있는 지형으로, 산지는 도로를 따라 지반고가 중·횡방향으로 크게 변화되며, 선형기준을 충족하기 위해 대규모 지반굴착이 빈번하게 발생하는 지형으로 정의하고 있다. 호주의 경우도 자연 지형을 평지, 구릉지, 산지로 각각 구분하고 있으며 지형구분에 대한 정성적인 정의를 AASHTO(2004)와 유사한 형태로 제시하고 있다(AUSTROADS, 2003).

표 1. 도로설계기준상 지형구분과 최대 종단경사

| 최대 종단경사(%)      |      |    |      |    |               |    |      |    |
|-----------------|------|----|------|----|---------------|----|------|----|
| 설계속도<br>(km/시간) | 고속도로 |    | 간선도로 |    | 집산도로<br>및 연결로 |    | 국지도로 |    |
|                 | 평지   | 산지 | 평지   | 산지 | 평지            | 산지 | 평지   | 산지 |
| 120             | 3    | 4  |      |    |               |    |      |    |
| 110             | 3    | 5  |      |    |               |    |      |    |
| 100             | 3    | 5  | 3    | 6  |               |    |      |    |
| 90              | 4    | 6  | 4    | 6  |               |    |      |    |
| 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    | 16 |

일본의 개정 이전 도로설계기준(일본토목협회, 1936)은 지형을 평지, 구릉지, 산지로 구분하였으나 최근 개정(일본도로협회, 2004)에는 구릉지를 제외하고 산지와 평지만으로 지형을 구분하여 정의하고 있다. 독일의 경우도 개정 이전 기준에는 표고를 이용하여 지형을 구분하였으며, 평지는 표고 150m 이하, 구릉지는 150~350m 이내, 산지는 350m 이상으로 제시하였으나(일본 토목협회, 1936) 최근 독일 기준에는 이 부분이 제시되지 않았다.

지형구분과 도로설계를 연계하는 연구로서, 김상엽, 최재성, 이승용, 한형관(2006)은 도로 설계 활용을 위한 지형 구분을 검토하였다. 이 연구는 고도와 경사도에 따라 지형을 9가지로 구분하고 주행속도와 상관 관계를 검토한 후에 지형구분 기준을 표 2와 같이 제시했다.

표 2. 표고와 경사도를 이용한 지형구분(김상엽 등, 2006)

| 구 분                | 0~100m | 400m 이하 | 400m 초과 |
|--------------------|--------|---------|---------|
| 0°~5°(0~8.7%)      | 평지     | 평지      | 산지      |
| 5°~10°(8.7%~17.6%) | 평지     | 구릉지     | 산지      |
| 10°(17.6%) 이상      | 구릉지    | 산지      | 산지      |

지형은 도로 선형 설계에 영향을 미치며 특히 종단 선형을 결정하는 중요한 요소이다. 종단선형은 도로 용량 관점에서도 중요한 의미를 갖는다. 도로용량편람(2001)에 의하면, 평지는 종단 경사, 평면선형 및 종단선형 조합에서 중차량이 지형 조건에 영향을 받지 않고 승용차와 거의 같은 속도로 주행할 수 있는 지형으로 정의하고 있다. 이 구간에는 일반적으로 2% 미만의 짧은 경사 구간이 포함된다. 구릉지는 종단 경사, 평면선형 및 종단 선형 조합에서 중차량의 속도가 승용차보다 감소하지만, 상당히 긴 시간동안 오르막 한계속도로 주행하지 않는 곳이다. 이 구간에는 일반적으로 2% 이상 5% 미만의 경사 구간이 포함된다. 산지는 중차량이 종단 경사, 평면선형 및 종단선형 조합으로 인하여 상당히 긴 구간을 오르막 한계속도로 주행하거나, 자주 오르막 한계속도로 주행하는 곳이다. 이 구간에는 일반적으로 5% 이상의 경사 구간이 포함된다. 용량관점에서 지형구분은 궁극적으로 중차량 보정계수를 도출하는 것으로, 일반 지형 분석과 특정 경사구간 분석으로 구분된다. 전자는 도로의 전반적인 지형 특성만을 고려하여 평지, 구릉지 및 산지로 나누어 각각에 상응하는 승용차 환산계수를 적용하여 중차량 보정계수를 구하는 방법이고, 후자는 구간 종단 경사가 3% 이상이며, 경사 길이가 500m를

넘는 구간의 경우 특정 경사 구간으로 별도 구분하여 중차량 보정계수를 구하는 방법이다. 비록 용량편람에는 세 가지 지형을 정의하고 있으나 구체적인 지형구분 기준은 제시되지 않고 있다.

### 2.3. 선행연구 시사점 및 연구논점 도출

선행연구 검토 결과, 국가별로 지형구분에 대한 정의 및 접근방식에 차이가 있으며 이는 국가별 자연지형 조건의 차이 등이 반영된 것으로 볼 수 있다. AASHTO(2004)는 자연 지반고와 계획고 간의 차이 등을 토대로 지형 정의를 정성적으로 제시하고 있으며, 김상엽 등(2006)은 표고와 경사도를 이용해 자연지형을 구분하고 이를 도로 설계와 연계한 국내 최초의 연구로 많은 시사점을 주고 있다. 김상엽 등(2006)의 연구는 표고와 경사도를 이용해 최종적으로 지형구분에 관한 기준을 제시하고 있어 노선대 주변의 개괄적인 지형 특징을 반영할 수 있는 장점을 가지고 있다.

도로 설계를 위한 지형 정의가 어려운 이유는 지형 정의를 단순히 자연 지형 특징만으로 규정하는 것은 한계가 있고 도로 기능 등을 동시에 감안해야 하는 특성이 있기 때문이다. 이점이 지형에 대한 정량적인 기준 도출을 어렵게 하는 이유이다. 그러나 지형구분에 대한 정량적인 기준이 없이는 도로 설계 실무 관점에서 보면 지형구분에 대한 설계자의 임의성이 작용할 수 있는 여지가 있으므로 절대적인 기준은 아니지만 설계 실무에서 참고할 수 있는 수준에서의 개략적 지형 구분 기준이 마련될 필요가 있을 것으로 본다. 이런 관점에서 본 연구는 지형구분 기준에 대한 연구접근 방안을 정립하고 사례 분석과 공학적 합리성에 기초한 논리적 검토를 통해서 지형 기준을 제안하고자 한다.

## 3. 연구의 개념적 틀

### 3.1. 개념 구상

도로 선형 설계는 도로 기능을 최대한 유지하되 자연 상태에 미치는 영향을 줄이는 관점과 공사비 등 투자 효율 관점에서는 가급적 절·성토를 최소화하는 것이 필요하지만 주어진 도로 기능에 따라 유지되어야 하는 이동성이 있으므로 자연 지형만의 특성으로 지형을 구분하기에는 한계가 있으며 상호 균형적인 방안 마련이 필요하다. 본 연구는 자연 상태 보존을 위한 절·성토를 최대한 줄이되 주어진 이동 기능을 만족할 수 있는 두 가지 관점에서 지형 구분 기준을 위한 연구 접근을 시도했다.

검토 결과, 절·성토 부하에 관한 공학적 한계 범위를 만족함과 동시에 도로 기능에 따라 주어진 최대 종단경사 조건을 만족하도록 유도하는 것이 지형구분으로 기대할 수 있는 효과라고 보았다. 이런 관점에서 절·성토 부하에 관한 추천범위에 대해 선행연구를 검토하고 도로 설계 사례 분석을 통해 지형 구분 기준 범위를 도출하고자 한다.

절·성토 최소화는 자연 상태 보존 측면에서는 바람직하지만 요구되는 도로의 이동기능을 충족하기 위해서는 일정 수준의 지반 굴착이 불가피하며 평지의 경우에도 배수 등의 문제로 인해 일정 수준의 성토는 필요하다. 아울러 도로 공사는 지엽적 여건(하천, 교차도로 등)과의 관계를 고려하는 부분도 있으므로 노선 계획 시 자연 지형에 완전하게 부합되게 선형을 설정하는 것은 현실적인 한계가 있다. 다만 자연 상태 보존을 위해 요구되는 도로 기능을 유지하면서 절토와 성토 높이를 최소화하는 것이 바람직하다. 도로 공사에 있어 절토와 성토의 최대 한계를 규정하는 것은 어렵다. 본 연구는 절·성토의 한계를 지반고와 계획고의 차이를 이용하여 평가하는 것으로 전제하였다. 문헌(Schoon, 2000)을 참조하여, 지반고와 계획고의 차이의 한계 값으로 10m로 정의하였다(그림 1 참조).

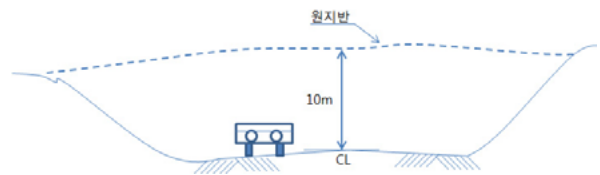


그림 1. 지반고와 계획고 차이에 대한 한계

본 연구는 도로 설계 시 지반고와 계획고의 차이가 10m를 넘지 않지만 도로 기능에 따라 부여된 도로설계 기준상 평지 지형구분을 적용하기엔 무리가 있는 도로 구간은 평지가 아닌 구릉지나 산지로 구분하는 것이 타당하다고 보았다. 이러한 개념 구상에 따른 지형 구분 기준을 도출하는 방법으로 도로설계 사례분석을 택하였다. 이는 실제 도로설계에서는 다양한 지엽적 조건들을 감안하여 도로설계 전문가가 최적의 선형 계획을 수행한 것으로 전제한 것이며 다만 도로설계기준을 충족해야 하는 제약조건(최대 종단경사 기준)이 본 연구의 사례분석에서 주요하게 검토될 부분으로 보았다.

### 3.2. 접근방법

지형 구분 기준 마련을 위한 접근 방법을 절차식으로

나타내면 그림 2와 같다. 도로설계 사례분석 지점에 대해 기복 변화 지점을 중심으로 1km 단위로 분할하고 이를 단위분석구간으로 정의한다. 단위분석구간 내 50개의 측점(20m)별로 지반고와 계획고의 차이 및 구간 최대 종단경사를 도출한다. 지반고와 계획고의 차이가 10m(절·성토 추천범위)를 넘는 측점이 없으며 최대 종단경사가 도로설계기준에 제시된 평지 최대 종단경사를 초과한 구간을 추출한다. 본 연구는 도로설계기준상 평지 지형 구분을 적용하면 지반고와 계획고의 추천범위를 만족하기 어려운 구간을 지형 구분의 경계로 보았다. 지반고와 계획고간의 차이를 만족하는 지의 여부를 조건 I로 하고, 도로 이동 기능 측면을 고려하기 위해 도로별 평지 설계 기준(최대 종단경사)의 초과 여부를 조건 II로 하면 표 3과 같이 네 가지의 유형이 도출된다. 표 3에서 두 조건을 모두 만족하는 유형 I에 해당하는 단위분석구간의 지반고 최고점과 최저점의 차이(본 연구는 이를 '기복 지표'로 정의함)를 통해 지반고 기반 지형구분 기준을 도출한다.

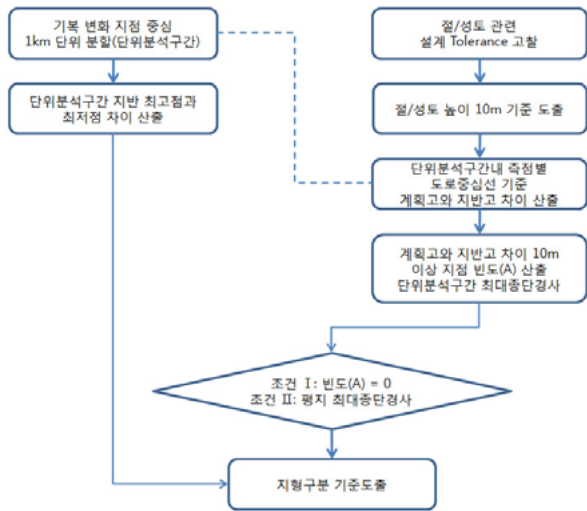


그림 2. 지형 구분 기준 도출 절차

표 3. 지형구분 기준 도출을 위한 유형 구분

| 구분     | 조건 I | 조건 II | 비고                          |
|--------|------|-------|-----------------------------|
| 유형 I   | O    | O     | 절/성토 권장범위 만족, 평지 최대경사 초과    |
| 유형 II  | O    | X     | 절/성토 권장범위 만족, 평지 최대경사 이내    |
| 유형 III | X    | X     | 절/성토 권장범위 만족 못함, 평지 최대경사 이내 |
| 유형 IV  | X    | O     | 절/성토 권장범위 만족 못함, 평지 최대경사 초과 |

## 4. 도로설계 사례분석

### 4.1. 분석 방법

지형 구분 기준 마련을 위한 접근 방법에 기반하여 국도, 지방도에서 실제 설계된 사례구간들을 분석하였다. 사례조사 지역은 지형 기복이 심한 고구격의 국도를 중심으로 하고 고속국도와 지방도를 포함하였다(표 4 참조). 사례분석에 이용된 도로구간의 총 연장은 194.9km이며 기복 변화량을 중심으로 1km 단위로 구분하여 총 189개의 단위분석구간을 추출하였다. 이 가운데 터널이나 교량 등으로 인해 지반고와 계획고의 차이 분석에 한계가 있는 지점 등을 제외하여 총 111개의 단위분석구간이 연구에 이용되었다. 분석에 이용된 단위분석구간 내 지반고 최고점과 최저점의 차이(이하에선 기복지표라 명명함)의 최소값은 2.06이고 최대값은 110.80m였으며 경사의 최소값은 0.05%, 최대값은 12%였다.

표 4. 사례 분석 구간 개요

| 구분          | 위치    | 총 분석<br>연장<br>(km) | 단위분<br>석구간<br>(개) | 분석이용<br>단위분석<br>구간(개) | 기복지표(m) |          | 경사(%) |          |
|-------------|-------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------|----------|-------|----------|
|             |       |                    |                   |                       | 평균      | 표준<br>편차 | 평균    | 표준<br>편차 |
| 일반<br>국도    | 이천-여주 | 17.3               | 17                | 14                    | 15.71   | 7.34     | 2.59  | 1.32     |
|             | 여주-강천 | 10.4               | 10                | 5                     | 31.99   | 14.65    | 2.65  | 1.27     |
|             | 양수-덕평 | 15.3               | 15                | 8                     | 21.56   | 16.18    | 2.93  | 2.12     |
|             | 양평-용문 | 10.0               | 10                | 6                     | 44.33   | 20.22    | 3.66  | 1.87     |
|             | 용문-용두 | 13.3               | 13                | 10                    | 31.09   | 19.41    | 2.04  | 1.47     |
|             | 진접-신팔 | 15.1               | 15                | 8                     | 24.36   | 8.49     | 3.45  | 1.35     |
|             | 신팔-일동 | 12.0               | 12                | 10                    | 35.96   | 16.48    | 2.93  | 1.97     |
|             | 일동-이동 | 16.9               | 16                | 13                    | 36.90   | 18.48    | 3.00  | 1.90     |
|             | 점촌-문경 | 15.4               | 15                | 13                    | 22.37   | 18.65    | 2.26  | 0.92     |
|             | 나전-진부 | 15.1               | 15                | 3                     | 65.32   | 30.77    | 2.94  | 0        |
| 고속<br>국도    | 울산-포항 | 15.2               | 15                | 2                     | 80.61   | 42.68    | 2.22  | 1.06     |
|             | 상주-영덕 | 15.1               | 15                | 2                     | 20.50   | 8.33     | 4.81  | 0.07     |
| 지<br>방<br>도 | 영월-정양 | 6.7                | 6                 | 2                     | 41.63   | 28.07    | 2.80  | 3.11     |
|             | 진위-남사 | 4.9                | 4                 | 4                     | 6.13    | 2.21     | 2.35  | 1.60     |
|             | 오산-남사 | 5.2                | 5                 | 5                     | 18.67   | 7.36     | 3.73  | 0.93     |
|             | 분천-안녕 | 1.9                | 1                 | 1                     | 34.96   | -        | 5.2   | -        |
|             | 용문-단월 | 5.1                | 5                 | 5                     | 34.85   | 20.39    | 6.68  | 3.03     |
| 합계          |       | 194.9              | 189               | 111                   | 28.99   | 19.87    | 3.04  | 1.83     |

그림 3은 단위분석구간 내 기복지표의 분포를 나타낸 것이다. 기복지표의 평균은 28.99이며 표준편차는 19.87이다. 전체의 75%가 40m 미만에 분포하였고, 전체의 93%가 60m 미만에 분포하였다.

그림 4는 단위분석구간의 최대 종단경사(절대값) 분포를 나타낸 것이다. 종단경사의 평균은 3.04이며 표준

편차는 1.83이다. 전체의 97%가 중단경사 6% 미만에 분포하였다.

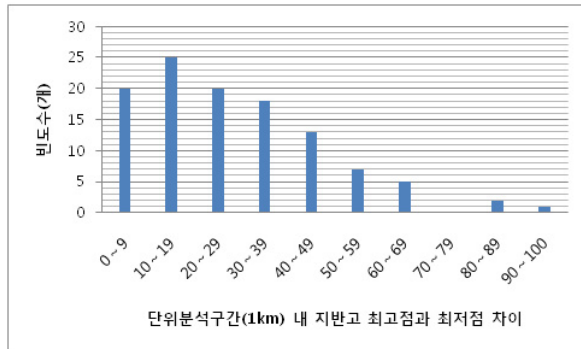


그림 3. 단위분석구간 기록지표 분포

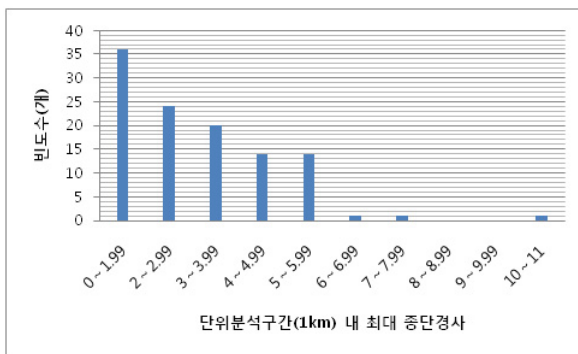


그림 4. 단위분석구간 최대 중단경사(절대값) 분포

## 4.2. 분석 결과

전체 111개의 단위분석구간을 본 연구에서 정의한 네 가지의 유형 구분(표 3 참조)에 따라 분류하였다. 그림 5는 유형 I에 해당하는 구간 사례에 대해 지반고, 계획고, 중단경사를 나타낸 것이다. 그림 5에 제시된 바와 같이 기록지표가 10m를 넘는 지점이 없으며 최대 중단경사는 평지기준인 4%를 초과한 경우이다.

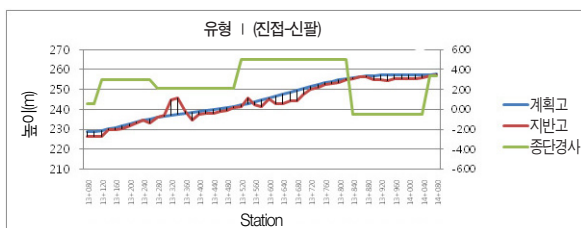


그림 5. 유형 I 분석 구간 사례

그림 6은 유형 II에 해당하는 구간 사례에 대해 지반고, 계획고, 중단경사를 나타낸 것이다. 그림 6에 제시된 바와 같이 측정별 기록지표가 10m를 넘는 지점이 없으며 최대 중단경사는 평지기준인 4% 이내인 경우이다. 이런 구간의 일반적인 지형 특성은 평지로서 원지반

의 기록이 크게 변화되지 않는 곳이 대부분이다.

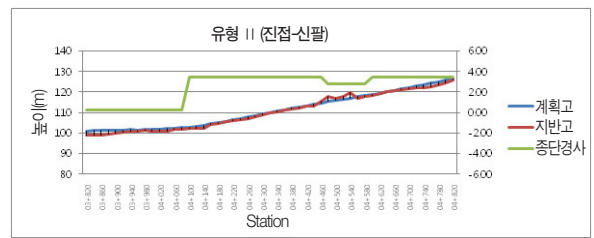


그림 6. 유형 II 분석 구간 사례

그림 7은 유형 III에 해당하는 구간 사례에 대해 지반고, 계획고, 중단경사를 나타낸 것이다. 그림 7에 제시된 바와 같이 측정별 기록지표가 10m를 넘는 지점이 있으며 최대 중단경사는 평지기준인 4% 이내인 곳이다. 이 유형은 지형구분을 세분화하여 적용 시 특히 효과가 기대되는 구간으로 지형상의 기록이 심한 반면에 평지 중단경사 기준 적용으로 인해 지형을 최대한 반영하지 못할 개연성이 높은 구간이다.

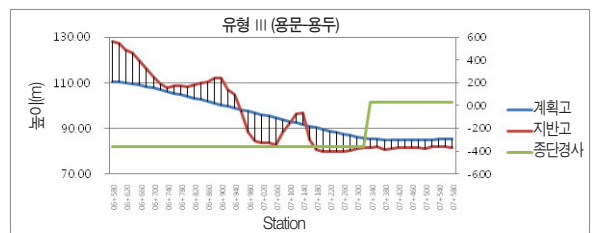


그림 7. 유형 III 분석 구간 사례

그림 8은 유형 IV에 해당하는 구간 사례에 대해 지반고, 계획고, 중단경사를 나타낸 것이다. 그림 8에 제시된 바와 같이 측정별 기록지표가 10m를 넘는 지점이 있으며 최대 중단경사는 평지기준인 4%를 초과한 곳이다. 이 유형은 지형상의 기록이 심하여 평지 중단경사 기준을 초과하여 설계한 구간의 사례이다.

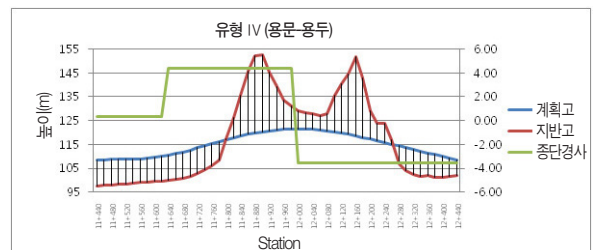


그림 8. 유형 IV 분석 구간 사례

그림 9는 지형 구분을 위한 유형별로 기록지표의 분포를 나타낸 것이며, 표 5는 기록지표에 대한 통계값을 나타낸 것이다. 유형 I의 경우는 약 30~60m 사이에 분포하였으며 유형 II의 경우는 기록지표가 대부분 20m 미만에 분포하였다. 유형 III의 경우는 기록지표

10~60m 사이에서 벨 모양으로 분포하였다. 유형Ⅳ의 경우는 대부분 기복지표가 30m 이상에서 분포하였다.

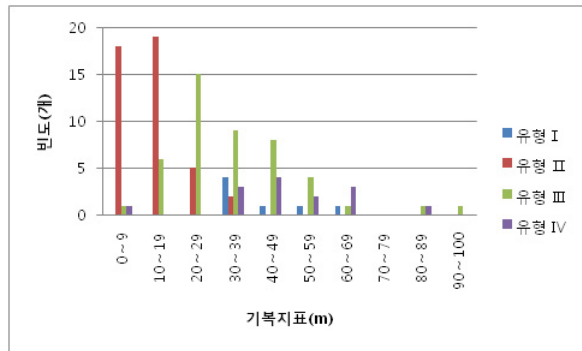


그림 9. 지형구분 유형별 기복지표 분포

표 5. 지형구분 유형별 기복지표 통계값

(단위 : m)

| 구분     | 구간 수 | 평균    | 표준편차  | 최소값   | 최대값   | 중간값   |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 유형 I   | 7    | 42.92 | 13.13 | 31.03 | 61.41 | 35.41 |
| 유형 II  | 44   | 14.06 | 8.23  | 2.06  | 35.30 | 14.22 |
| 유형 III | 46   | 35.46 | 19.46 | 6.49  | 110.8 | 32.88 |
| 유형 IV  | 14   | 47.71 | 18.46 | 7.49  | 81.91 | 47.41 |

본 연구는 도로설계기준상 평지 지형 구분을 적용하면 지반고와 계획고의 추천범위를 만족하기 어려운 구간을 지형 구분의 경계로 보았다. 사례분석에서 이러한 조건을 만족하는 경우를 유형 I로 하였다. 그림 10은 유형 I에 해당하는 구간의 기복지표와 종단경사 분포를 나타낸 것이다. 본 연구는 이상의 분석을 토대로 평지와 구릉지의 경계범위로서 유형 I 기복지표(1km 내 지반고와 계획고의 차)의 평균인 42.92m를 도출하였다.

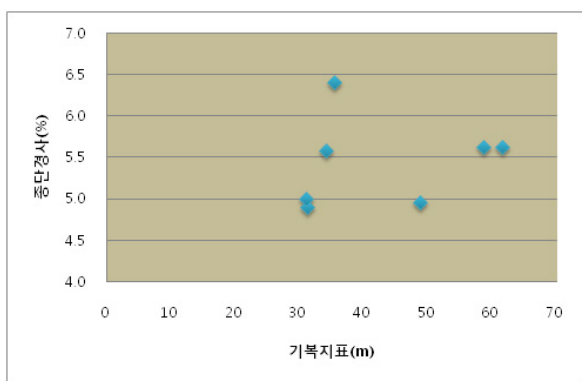


그림 10. 유형 I의 기복지표 및 종단경사 분포

### 4.3. 결과 검토 및 토의

지형구분 기준에 관한 사례분석을 통해 평지구간과 다른 지형간의 경계 조건을 42.92m로 제시했다. 이를

실무에 적용하기 위해 10m 단위에서 절삭하여 기복지표 40m를 평지와 구릉지 경계 조건으로 하는 것을 제안한다. 본 연구에서 수행한 설계 사례분석은 실제 도로 설계 시 발생하는 다양한 고려요소(자연지형, 하천, 지장물, 교차도로 등)가 일정부분 반영되어 있어 보다 현실성 있는 측면이 있으나 사례분석의 한계상 분석지점이 제한되므로 결과가 논리적인 합리성을 가지고 있는지를 검토할 필요성은 있다. 그림 11은 기복지표 40m가 단위 분석구간(1km 가정)에서 가질 수 있는 세 가지 형상을 제시한 것이다. A형상은 40m 기복이 구간 끝에 발생하는 오르막 형상이고 B형상은 중앙에서 산 모양으로 C형상은 구간 처음부터 기복이 발생해서 내려가는 형상을 나타낸 것이다. A형상에서는 최대 종단경사를 4%(지방부 간선도로 설계속도 80km/h, 90km/h)로 전제하는 경우 구간내 지반고와 계획고의 차이가 발생하지 않는 이상적인 형상이라 할 수 있다. B형상은 구간 중간에서 지반고와 계획고의 차이가 20m(원지반 40m, 계획고 20m)로 가장 크게 나타나며 다른 지점에서는 이보다 작게 나타난다. C형상은 구간 첫부분에 지반고와 계획고의 차이가 40m가 발생하고 이후 점차 줄어들게 된다. A형상은 평지 종단경사를 적용하는 기복지표의 이론적인 경계구간으로 볼 수 있다(고속국도 최대종단경사 3% 가정시 지반고와 계획고 최고차 10m). 실제 도로설계 시 항상 A형상만이 존재하기 보다는 B형상과 C형상에 유사한 형상이 존재할 수 있으며 이 구간에서는 평지의 최대 종단경사 기준으로 적용시 지반고와 계획고의 차이가 10m를 초과하는 구간이 발생하게 되므로 이보다 종단경사를 높여서 적용하는 것이 바람직하다.

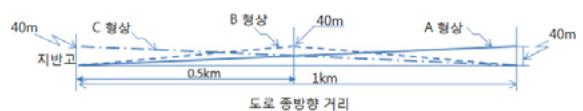


그림 11. 기복지표 40m를 갖는 도로 기복 형상

본 연구에서 지형구분의 기준으로 평지와 구릉지의 경계에 대해 설계 실무 사례분석과 논리적인 합리성을 검토하여 제시하였으나 구릉지와 산지에 대해서는 본 연구에서 적용한 접근방법을 적용하는데 한계가 있다. 이는 구릉지의 최대 종단경사가 정의되지 않았기 때문이다. 본 연구는 현재 설계속도 80km/h부터 120km/h 사이에서 산지 종단경사 최대값이 4~7%임을 감안할 때, 구릉지의 종단경사는 5~6% 범위인 점을 감안하고 6%를 구릉지와 산지부를 구분하는 경계조건으로 고려하고 앞서의 논리적 검토와 동일 맥락에서 60m로 제안

한다(그림 12 참조).

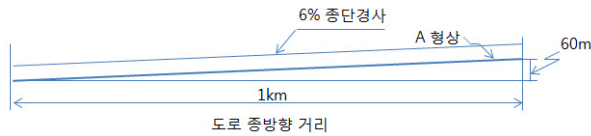


그림 12. 기복지표 60m를 갖는 도로 기복 형상

본 연구는 지형구분에 관한 보다 객관적인 기준 마련을 위해 설계 사례분석과 논리적 검토를 수행하였다. 본 연구에서는 이를 기반으로 구릉지로 판단할 수 있는 지형 기준을 기복지표를 이용하는 방안을 도출했다. 비록 사례분석과 논리적 검토가 공학적인 합리성에 기반해서 결과를 도출했지만 도로 설계실무에서는 본 연구에서 검토되지 않은 다양한 요인들이 있다. 예를 들어 도시지역에서 지형을 평지로 설계하는 것이 구릉지나 산지로 설계하는 것에 비해 경제성이 높을 수 있으며 이 경우는 무리하게 자연상태 보존이라는 측면과 경제성이 상호 균형있게 반영될 수 있도록 지형을 선정할 필요가 있다. 지방지역 도로설계에 있어서도 설계대상 구간의 전후에 지형관계, 연결도로의 기능, 하천이나 강, 교차도로 등 다양한 고려요소가 있으므로 지형에 대한 최종 판정은 설계 대상구간의 도로기능, 자연환경, 경관, 경제성 등 다양한 요소에 대한 종합적 검토를 토대로 도로 설계자가 합리적으로 결정하는 것이 바람직하다. 이런 이유로, 본 연구의 도로 설계 지형 구분에 대해 도로 설계자가 자연지형 구분에 대한 엄격한 잣대로 삼기 보다는 참고 자료로써 활용을 한정하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 수행한 유사선형연구, 사례분석, 논리적 검토 등을 종합해 지형 구분에 대해 정성적인 구분과 정량적 구분이 도출되었다. 지형구분에 정성적 기준으로, 평지는 자연지형 조건의 변화가 심하지 않으며 설계기준을 충족하는 도로선형 구현에 어려움이 없는 지형, 구릉지는 도로를 따라 자연지반과 도로계획고간 차이가 일정하게 반복적으로 변화되며, 간헐적인 급경사면으로 인해 일반적인 도로선형 구현에 제한적인 지형, 산지는 도로를 따라 자연지반고와 도로계획고의 차이가 크게 변화되며, 선형기준을 충족하기 위해 대규모 지반굴착이 빈번하게 발생되어 공사비가 현저하게 발생하는 지

표 6. 지반고의 변화량에 기반한 지형구분

| 지형 구분 | 지형 정의                        |
|-------|------------------------------|
| 평지    | 1Km 내 지반 최고점과 최저점 차이가 40m 미만 |
| 구릉지   | 1Km 내 지반 최고점과 최저점 차이가 40~60m |
| 산지    | 1Km 내 지반 최고점과 최저점 차이가 60m 초과 |

형으로 정의하였다. 지형구분에 대한 정량적 구분 방안은 표 6과 같다.

## 5. 결론 및 향후연구

도로 설계는 자연 지형에 순응하도록 선형을 결정함으로써 경제적이며 환경적인 피해가 최소화되는 도로 건설이 이루어지도록 할 필요가 있다. 이런 관점에서 본 연구는 국토의 25.8%를 차지하는 구릉지를 반영한 지형 구분을 전제로 평지, 구릉지, 산지를 구분할 수 있는 지형구분 판정기준에 대해 연구·검토하여 결과를 제시했다. 본 연구결과는 그동안 평지와 산지라는 양분된 지형 적용에 보다 유연성을 줄 수 있을 것으로 기대하며 설계 실무 관점에서 보다 정밀한 설계를 통해 자연 상태 보존과 도로 이동 서비스수준간의 균형 있는 접근을 유도하는데 기여할 것으로 본다.

도로 설계는 도로의 기능, 지역, 지형 조건 등을 종합적으로 고려하여 이루어지므로 자연지형을 그대로 설계에 반영할 수는 없다. 이런 이유로, 지형이 산지인 구간에도 평지 조건으로 설계하는 것이 경제적일 수 있으므로, 지형 구분에 대한 최종 판정은 설계 대상구간의 도로기능, 자연환경, 경관, 경제성 등 다양한 요소에 대한 종합적 검토를 토대로 도로 설계자가 합리적으로 결정하는 것이 바람직하다.

향후 연구는 지형 구분에 대한 기준에 대한 실무 적용 관점에서의 확대 연구가 필요할 것으로 본다. 특히 도로 설계 현장은 다양한 고려 요소가 있기 때문에 하나의 판단 척도가 모든 문제를 해결하는 데는 역부족이다. 따라서 비록 본 연구를 통해 지형 구분에 대한 참고적인 목적의 판별 기준이 정립되었으나 이를 세부적으로 발전시킬 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 본다.

## 참고 문헌

건설부, 토지분류조사, 1972~1982  
 건설교통부(1988), 2000년대의 공영개발을 위한 구릉지개발 적지조사  
 건설교통부(2001), 도로용량편람  
 국토해양부(2009), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙  
 국토해양부(2009), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설  
 대한주택공사(1999), 산지, 구릉지 택지개발 방안 연구  
 한국토지공사(2000), 환경친화적인 산지·구릉지 개발기법 연구



김상엽, 최재성, 이승용, 한형관(2006), 도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구, *한국도로학회 논문집* 제8권 4호, pp. 49-62

이금삼, 조화룡,(2000) "DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도분석", *한국지리정보학회지* 3권 1호, pp. 35-43

日本道路協會(2004), *道路構造令の解説と運用*

일본토목협회(1936), *道路構造令細則改正案 解説*

American Association of State Highway and Transportation Officials(2004), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*

AUSTROADS(2003), *Rural Road Design*

Schoon, J. G. (2000), *Geometric Design Projects for Highways, Second Edition, ASCE Press*

접 수 일 : 2011. 9. 14

심 사 일 : 2011. 9. 14

심사완료일 : 2011. 11. 7