

제 2 편 도로 계획





4. 도로용량과 서비스수준

4.1 개 요

도로용량을 분석하는 목적은 해당 도로의 용량을 명확히 밝힘으로써 도로를 효율적으로 이용하고, 도로 투자를 적절히 하도록 하는데 있다. 도로용량을 분석하는 데는 해당 도로의 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감 그리고 교통안전 등의 서비스 상태를 설명하는 질적인 개념으로 서비스수준을 이용한다.

도로용량을 분석하는 목적은 도로의 운행 상태를 평가하여 기존 도로의 개선 방안을 세우거나 도로 계획 시에 도로 시설의 적정 규모를 결정하는데 있다.

도로용량의 분석은 크게 두 가지 연속되는 절차를 통하여 수행된다.

처음은 주어진 도로가 수용할 수 있는 최대 교통량을 추정하는 것이다. 일반적으로 도로는 용량 상태 또는 용량에 근접한 상태가 발생하지 않도록 적절한 조치를 취해야 한다.

다음은 도로에서 일정한 서비스수준을 유지하기 위한 도로의 교통운행 상태를 평가하는 것이다. 도로는 기능상 이동기능과 접근기능을 동시에 갖는데, 도로가 적절한 이동기능을 확보하고 있다는 것은 도로상의 교통운행 상태가 적절한 서비스수준을 유지하고 있다는 것과 같은 의미를 가진다.

도로용량 분석에서 교통류의 상태를 규명하기 위한 서비스수준의 평가는, 주어진 도로가 그 기능을 충분히 발휘하고 있는지의 여부를 평가한 후 일정한 서비스수준을 유지할 수 있도록 여러 가지 대안을 마련하는 데 목적을 두고 있다.

여기에서는 고속국도와 관련된 도로용량 분석을 중심으로 설명하도록 한다.

4.2 도로용량에 영향을 주는 요소

도로용량이란 주어진 도로 조건에서 15분 동안 최대로 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값이다.

도로용량에 영향을 주는 도로 요소는 도로의 모든 기하구조 요소를 포함하며, 지형, 도로 종류, 횡단면(차로 폭, 길어깨 폭 등), 설계속도, 평면선형과 종단선형 등이 있으며, 교통 요소로는 차종별 구성비, 교통량의 방향별 분포와 차로별 이용도, 교통통제조건 등이 있다.

(1) 도로용량의 정의

도로용량의 정의는 다양하게 정의되어 있으나, 해당 도로가 주어진 도로, 교통 등의 여건에서 통과시킬 수 있는 시간당 최대 교통량을 말하며, “도로용량편람(국토교통부)”에서는 도로용량이란 주어진 도로 조건에서 15분 동안 최대로 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 교통량으로 정의하고 있다.

도로용량은 도로조건 및 교통조건에 따라 교통류에 영향을 주어 용량이 변화하게 하는데, 도로 기하구조 및 교통 조건 그리고 주변 환경이 차량의 통행에 지장을 주지 않는 조건을 기본 조건이라고 한다. 고속국도의 경우 다음과 같은 조건일 때 용량과 서비스수준 측면에서 기본 조건에 해당한다.

- ① 차로폭 3.5 m 이상
- ② 측방여유폭 1.5 m 이상
- ③ 승용차만으로 구성된 교통류
- ④ 평지

(2) 도로용량에 영향을 주는 도로 요소

(가) 일반지형

일반지형은 다음 세 가지로 구분한다.

- 평지(level terrain) : 종단경사, 평면선형 및 종단선형 조합에서 중차량이 지형 조건에 영향을 받지 않고 승용차와 거의 같은 속도로 주행할 수 있는 지형으로, 이 구간에는 일반적으로 2% 미만의 짧은 경사 구간이 포함된다.
- 구릉지(rolling terrain) : 종단경사, 평면선형 및 종단선형 조합에서 중차량의 속도가 승용차보다 감소하지만, 상당히 긴 시간동안 오르막 한계속도로 주행하지 않는 곳이다.

이 구간에는 일반적으로 2% 이상 5% 미만의 경사 구간이 포함된다.

- 산지(mountain terrain) : 중차량이 종단경사, 평면선형 및 종단선형 조합으로 인하여 상당히 긴 구간을 오르막 한계속도로 주행하거나, 자주 오르막 한계속도로 주행하는 곳이다. 이 지형은 일반적으로 5% 이상의 종단경사 구간이 포함되며, 오르막 한계속도는 중차량이 주어진 긴 상향 종단경사에서 일정하게 주행할 수 있는 최고 속도를 말한다. 오르막 한계 속도는 교통류 내의 중차량 구성비와 자동차 성능에 따라 달라진다.

(나) 특정 경사구간

종단 경사가 3% 이상이고 경사 길이가 500 m 이상인 구간 또는 이 조건과 같은 교통류 상태인 종단경사와 경사 길이를 가진 구간은 별도의 구간으로 분석해야 한다.

(다) 도로의 구분

도로용량의 관점에서 도로 시설은 일반적으로 연속류 시설과 단속류 시설로 구분된다. 연속류 도로는 고속국도와 같이 자동차 흐름에 지장을 주는 교통통제시설이 없는 도로를 말하며, 단속류 도로는 자동차 흐름을 주기적으로 통제하는 교통 신호등, 정지표지 및 양보표지 등이 설치된 도로를 말한다. “도로용량편람(국도교통부)”에서는 연속류 도로와 단속류 도로를 표 4.1과 같이 구분하고 있다.

〈표 4.1〉 도로의 구분(도로용량편람)

도 로 의 구 분		구 분 기 준
연속류 도 로	고속국도 • 기본구간 • 엇갈림 구간 • 연결로 및 연결로접속부 • 연결로-일반도로 결합부	편도 2차로 이상, 중앙분리대 설치 완전 출입통제, 차로 바꿈이 필요 없는 구간 엇갈림이 발생하는 구간 연결로 자체 및 연결로와 고속국도 접속부 고속국도와 일반 가로 접속부
	다차로 도로	편도 2차로 이상, 고속국도 기본구간 이 외
	2차로 도로	왕복 2차로 도로
단속류 도 로	신호교차로	교통신호등이 설치된 교차로
	도시 및 교외 간선도로	교통신호등 설치, 편도 2차로 이상, 평균 통행 거리 1 km 이상, 노측 가로의 평균 거리 300 ~ 500 m, 동일 기능의 도로 간격 500 ~ 1,000 m

(라) 횡단면

차로폭 및 측방여유폭은 교통류에 많은 영향을 주는데 차로폭이 좁으면 운전자들이 원하는 것보다 더 가까이 접근하여 주행하므로 전후좌우 자동차 간의 상호 작용이 커져 이에 따라 도로용량이 감소한다.

또한, 측방여유폭은 길어깨 및 중앙분리대의 포장단에서부터 운전자에게 인식되는 장애물까지의 거리를 말한다. 설치된 장애물의 성격에 따라 그 여유 폭이 교통류에 미치는 영향이 달라지지만, 용량 산정 절차에서는 장애물의 특성에 따른 세밀한 분석은 수행하지 않는다. 또, 운전자의 통행에 별다른 영향을 미치지 않는 방호울타리나 중앙분리대 등은 장애물로 간주하지 않는 것이 보통이다. 측방여유폭이 좁으면, 대부분의 운전자들은 위험하다고 판단되는 도로변과 중앙분리대에 설치된 고정 장애물로부터 떨어져서 통행하려고 하기 때문에 인접 차로의 자동차에게 접근하게 되므로, 좁은 차로 폭에서와 같은 현상이 나타난다.

(마) 설계속도와 도로 선형

설계속도는 도로의 여러 가지 기하구조 설계 조건이 반영된 종합적인 설계 변수로서, 횡단면은 물론 종단선형과 평면선형 설계의 기준이다. 설계속도는 다음과 같은 이유 때문에 서비스수준 및 자동차 운행에 영향을 준다. 즉, 운전자들은 일반적으로 설계속도보다 어느 정도 낮은 속도로 주행하는데, 곡선반지름이 작은 평면곡선 및 급경사가 빈번한 곳에서는 설계속도가 낮으며, 이러한 곳에서 도로의 선형을 따라 주행하기 위해서는 많은 주의와 감속이 필요하다.

종단선형은 설계속도와 계획도로가 통과하는 지역의 지형에 따라 결정된다. 일반적으로 용량 및 서비스 교통량은 경사가 급해짐에 따라 감소한다. 이러한 경향은 2차로 도로에서 특히 심하게 나타나는데, 나쁜 지형 조건은 교통류 내의 각 자동차들의 주행 능력에 영향을 미칠 뿐 아니라 교통류 내에서 고속으로 주행하는 자동차가 저속으로 주행하는 자동차를 앞지를 수 있는 기회도 줄어든다.

지형의 일반적인 경향 이외에 상당히 긴 독립된 상향 종단경사 구간은 자동차 운행에 큰 영향을 준다. 중차량은 이러한 상향 종단경사에서 저속으로 주행하므로 자동차 통행에 장애가 되고, 도로를 효율적으로 사용하지 못하게 되는 요인이 된다. 도로의 종단경사는 교차로 진입로의 자동차 통행에도 영향을 주는데, 그 이유는 멈춤 상태에서 출발할 때 관성과 종단경사를 동시에 극복하면서 출발해야 하기 때문이다.

(2) 도로용량에 영향을 주는 교통조건

(가) 차종별 구성비

도로용량, 서비스 교통량, 서비스수준에 영향을 미치는 근본적인 요인은 차종별 구성비이다(차종 분류는 ‘3.2 도로교통 현황 조사’ 참조). 중차량은 다음과 같이 두 가지 이유로 교통 흐름에 지장을 준다.

- ① 중차량은 승용차보다 크기 때문에 승용차보다 차로폭을 더 넓게 차지한다.
- ② 중차량은 승용차보다 주행 능력이 떨어진다. 특히, 가감속과 상향 종단경사에서의 오르막 능력이 떨어진다.

상향 종단경사에서 중차량의 오르막 능력 감소에 따른 영향은 매우 중요한데, 중차량은 승용차와 같은 주행을 유지하지 못하기 때문에 앞지르기로 채워지기 어려운 넓은 간격(gap)이 교통류 속에 형성되어 도로를 효율적으로 사용하지 못하게 된다.

이러한 경향은 2차로 도로의 길고 급한 상향 종단경사 구간에서 특히 심하게 나타나는데, 이런 곳에 양보차로(passing lane)을 설치하면 고속으로 주행하는 자동차가 저속으로 주행하는 자동차(중차량)를 앞지를 수 있으므로 교통 흐름이 원활해진다.

중차량은 하향 종단경사 구간을 주행할 때에도 영향을 받는데, 특히 중차량이 저속으로 변속해야 할 만큼 급한 하향 종단경사에 큰 영향을 받으며, 이런 경우에는 중차량의 속도가 승용차보다 낮기 때문에 교통류 내에 큰 간격(gap)이 생긴다.

(나) 교통량의 방향별 분포와 차로별 이용도

차종별 구성비 외에도 도로용량, 서비스 교통량, 서비스수준에 영향을 미치는 요인에는 교통량의 방향별 분포와 차로별 이용도가 있다.

교통량의 방향별 분포는 2차로 지방지역도로의 자동차 운행 상태에 큰 영향을 미치는데, 최적 상태는 각 방향별로 50 대 50으로 나타나며, 방향별 분포가 편중될수록 용량은 감소한다.

편도 2차로 이상의 도로 설계 시에는 2차로 도로와는 달리 한 방향의 흐름에 초점을 맞추어 수행하지만, 도로의 각 방향 모두 첨두 방향의 첨두 교통류율(peak rate of flow)에 적합하도록 설계해야 한다. 그 이유로는 대부분의 도로에서 오전 첨두 교통이 어느 한 방향에서 발생하고, 오후에는 이와 반대 방향에서 첨두 교통이 발생하기 때문이다.

(다) 교통 통제 조건

교통 통제 조건은 주로 단속류 도로에 해당된다. 대표적인 교통 통제 조건으로서 시간의 통제가 있는데, 특정 교통류의 주행에 이용되는 시간의 통제는 도로용량, 서비스 교통량 및 서비스수준에 큰 영향을 주는 요소이다. 이러한 교통 통제 시설의 대표적인 예는 교통신호등이다.

단속류 도로에서의 차량 운행은 교통신호등의 사용 방식에 따라 영향을 받는데, 신호 현시, 녹색 신호의 비율, 신호 주기, 접근 방향별 교통량 등이 결정 변수이다.

정지표지와 양보표지도 용량에 영향을 주지만 교통신호등보다 강제성이 약하다. 교통신호등은 각 방향별 움직임을 허용하는 시간을 확실하게 지시하는데 반하여 정지표지와 양보표지는 주 도로의 운전자들에게 통행 우선권(right of way)을 나타내고 있는데 불과하다.

부도로의 자동차들은 주도로 교통류 내로 끼어들 수 있는 간격(gap)을 찾아야만 하므로 이러한 진입로의 용량은 주도로의 교통 상태에 좌우된다.

4.3 서비스수준

도로의 서비스수준이란 도로를 이용하는 차량의 운행 상태의 질을 나타내는 기준이다. 서비스수준의 기준은 해당 도로의 특성을 가장 잘 반영할 수 있어야 하므로 도로의 종류에 따라 다를 수 있다. 서비스수준은 교통류의 질에 따라 A에서 F까지 여섯 단계로 구분하는데, A 수준은 가장 좋은 상태, F 수준은 가장 나쁜 상태를 나타낸다. 일반적으로, E 수준을 용량 상태라 한다. 도로의 설계서비스수준으로는 일반적으로 서비스수준 C와 D가 사용된다. 도로용량과 마찬가지로 서비스 교통량도 일반적으로 15분 간의 교통량을 토대로 결정한다.

서비스 교통량은 해당 도로의 서비스수준을 자동차 대수로 나타낸 것으로서, 주어진 시간 동안, 주어진 도로 조건, 교통 조건 및 교통 통제조건에서 일정한 서비스수준을 유지하면서 도로 또는 차로의 일정 구간 또는 지점을 자동차가 통과하리라 기대되는 교통류율을 의미한다.

도로용량과 마찬가지로 서비스 교통량도 일반적으로 15분 간의 교통량을 토대로 결정한다.

〈표 4.2〉 서비스수준별 교통류 상태

서비스 수준	구 분	교 통 류 상 태
A	자유 교통류	서비스수준 A는 원칙적으로 완전한 자유 통행 상태를 나타낸다. 차량들은 교통류 속에서 거의 완전히 방해받지 않고 운행할 수 있기 때문에, 운전자들에게 물리적으로나 심리적으로 아주 편안한 수준을 제공한다. 가벼운 사고나 고장의 영향은 이러한 서비스수준에서는 쉽게 흡수될 수 있다.
B	안정된 교통류	서비스수준 B는 상당히 양호한 자유 통행 상태를 나타낸다. 이러한 교통류 속의 운전자들은 통행하는 데 약간의 제한을 받으며, 물리적·심리적으로 편안함을 느낀다. 가벼운 사고나 고장의 영향은 아직은 쉽게 흡수될 수 있는 상태이지만, 부분적으로 서비스수준 A보다는 다소 악화될 수 있다.
C	안정된 교통류	서비스수준 C는 안정된 운행 상태를 제공하지만 교통량이 조금만 증가하더라도 서비스 질이 많이 떨어지는 범위에 접근한 교통류 상태이다. 교통류 속에서 통행 자유도는 상당히 제한을 받으며 차로를 변경하는 데 주의를 기울여야 한다. 이 서비스수준에서, 가벼운 사고의 영향은 흡수될 수 있지만, 사고 발생 시 서비스수준은 크게 떨어진다. 운전자들은 안전하게 운행하기 위하여 더욱 더 주의를 기울여야 하기 때문에 다소 긴장한다.
D	높은 밀도의 안정된 교통류	서비스수준 D는 안정된 흐름이지만, 이 수준을 조금만 넘어서도 서비스 질이 크게 떨어지며, 불안정 교통류가 된다. 교통류 속에서 통행 자유도는 상당히 제한되며, 운전자들은 물리적, 심리적으로 심하게 압박 받는다. 가벼운 사고나 고장이 발생하여도 교통류가 그로 인한 영향을 흡수할 여유가 없으므로, 상당히 지체하게 된다.
E	불안정 교통류 (용량 상태 발생)	서비스수준 E에서 차량들은 매우 불안정한 상태로 통행한다. 통행을 방해하는 요소들, 즉 연결로부터의 유입 차량, 차로 변경 차량 등이 있을 때 통행 차량들은 이러한 차량들의 진입에 따라 통행이 제약을 받으며, 이로 인한 교통류 방해파는 상류로 전파된다. 서비스수준 E와 서비스수준 F 사이의 경계는 용량 상태를 나타낸다. 용량 상태의 교통류는 어떠한 사소한 방해 요인도 분산시켜 흡수할 여유가 없으므로 가벼운 혼잡 요인이 개입되어도 오래 동안 교통류가 지체된다.
F	강제류 (와해 상태)	서비스수준 F는 교통수요가 도로용량을 넘어서서 통행이 와해된 상태를 말한다. 이러한 통행 와해 상태는 다음과 같은 곳에서 발생한다. ① 교통사고로 인하여 용량이 일시적으로 감소하는 곳 ② 도착 교통량이 그 지점을 통과할 수 있는 교통량보다 많은 곳으로서, 특히 합류부, 엇갈림 구간, 차로 축소 지점은 차로 기하구조상 혼잡이 자주 일어나는 곳이다. ③ 예측 상황에서 침두시간 교통량이 용량을 초과하는 지점에서 문제가 나타난다.

4.4 교통류의 효과척도

차량 통행 상태의 질을 나타내는 기준(예를 들면, 운행 속도, 지체, 밀도, 교통량 대 용량 비 등)이 되는 것을 효과척도(measure of effectiveness, MOE)라 하며, 서비스수준을 나타내는 데 사용한다. 고속국도를 운행하는 운전자에게 고속국도의 기본구간이 제공하는 서비스의 수준을 나타내는 데에는 밀도와 교통량 대 용량비를 효과척도를 사용한다.

(1) 서비스수준과 효과척도

서비스수준은 각 도로의 통행 상태를 가장 잘 나타내는 한 가지 또는 몇 가지의 운영 변수를 기본으로 하여 규정된다. 서비스수준의 개념은 운영 상태를 폭 넓게 나타내는 것이 바람직하지만, 많은 운영 변수를 모두 포함하여 운영 상태를 나타낸다는 것은 자료 수집 및 활용의 제한 때문에 불가능하다.

도로의 서비스수준을 규정하는데 이용되는 척도를 효과척도(Measures of Effectiveness, MOE)라 하는데, 이 효과척도들은 각 도로의 교통 운행의 질을 가장 잘 나타내야 한다. 표 4.3은 도로 구분별로 서비스수준을 규정하는 데 사용되는 효과척도들이다.

서비스수준은 표 4.3에 있는 효과척도를 사용하여 운영 상태를 일정 범위로 표현한 것이다. 서비스수준이란 질을 나타내는 개념이므로, 각 서비스수준은 하나의 값이 아닌 범위로 표현된다.

〈표 4.3〉 도로 구분에 따른 효과척도

구 분	도로의 구분		효 과 척 도
연속류 도로	고속국도 • 고속국도 기본구간 • 엇갈림 구간 • 연결로 접속부		밀도, 교통량 대 용량비 평균 밀도 영향권의 평균 밀도
단속류 도로	다차로 도로		평균 통행속도
	2차로 도로	일 반 지 형	도로유형별 총지체율
		특정 경사 구간	
	고속국도 연결로-일반도로 결합부 신호교차로		차량당 평균 제어 지체
	도시 및 교외 간선도로		평균 통행속도

여기에서는 연속류에서 가장 기본이 되는 효과척도인 교통량(교통류율)과 속도, 밀도, 교통량 대 용량비에 대해 설명한다.

(2) 교통량과 교통류율

교통량(volume)과 교통류율(flow rate)은 일정한 시간에 도로 또는 차로 상의 한 지점을 통과한 자동차 대수를 측정하는 단위로서, 이들 용어의 정의는 다음과 같다.

① 교통량 : 주어진 시간 동안 도로 또는 차로의 횡단면 또는 한 지점을 통과한 자동차의 총 대수를 나타낸다. 조사 단위는 1년, 하루, 1시간 또는 몇 분 등이다.

② 교통류율 : 한 시간보다 짧은 간격, 보통 15분 동안에 도로 또는 차로의 횡단면 또는 한 지점을 통과한 자동차 대수를 시간당 교통량으로 환산한 값이다.

즉, 교통량(volume)은 주어진 시간 동안 통과하리라 예측하거나 관측한 자동차 대수이며, 교통류율(flow rate)은 한 시간보다 짧은 시간에 통과하는 자동차 대수를 시간 단위의 교통량으로 환산한 것이다. 예를 들어, 15분 동안 100대의 자동차를 관측하였다면, 교통류율은 400대/시(=100대/15분)이다.

다음의 교통량 조사는 한 시간 실시한 것으로서, 두 용어의 차이를 잘 나타내고 있다.

관측 시간	관측 교통량	교통류율(대/시)
5:00~5:15	1,000	4,000
5:15~5:30	1,200	4,800
5:30~5:45	1,100	4,400
5:45~6:00	1,000	4,000
5:00~6:00	4,300	4,800

교통량은 연속된 15분 간격으로 네 차례 관측하였으며, 1시간의 교통량(volume)은 관측 교통량들의 합인 4,300대/시이다. 그러나 교통류율(flow rate)은 각 15분 간격마다 변하는데, 15분 간격 동안의 최대 교통류율은 1,200대/0.25시, 즉 4,800 대/시이다. 조사 시간에 관측 지점을 4,800대가 통과하지는 않았지만 15분 동안에는 이와 같은 통행 비율로 자동차가 통과하였다는 것을 나타내는 것이다.

도로용량 분석에서 가장 중요한 것은 침투 교통류율을 고려하는 것이다. 위의 교통량을 관측한 도로 구간의 용량이 4,500 대/시라면, 전체 한 시간 동안의 교통량(4,300 대/시)이 용량(4,500 대/시)보다 적더라도 4,800 대/시의 비율로 자동차가 도착하는 침투 15분 동안

(5:15~5:30)에는 교통 와해 상태가 발생한다. 이러한 상황은 와해 상태가 발생한 시점에서부터 오래 동안, 발생 지점에서부터 먼 곳까지 혼란이 확산된다.

첨두 교통류율은 첨두시간계수(Peak Hour Factor, PHF)를 사용하여 시간당 교통량으로 환산할 수 있다. 여기서, 첨두시간계수(PHF)는 첨두시간 교통량을 첨두시간의 최대 교통류율로 나눈 값으로 정의된다.

$$PHF = V_P / (4 \times V_{15})$$

여기서, PHF : 첨두시간계수

V_P : 첨두시간 교통량(대/시)

V_{15} : 첨두 15분 동안 통과한 자동차 대수(대/15분)

첨두 1시간동안 균일하게 자동차가 지나갔다면, 첨두시간계수는 1.0이다.

도로용량편람에서는 첨두시간 내의 첨두기간(일반적으로 15분, peak flow period) 동안의 교통량인 교통류율을 도로용량 분석의 기준으로 삼고 있다.

(3) 속 도

속도는 단위 시간당 이동한 거리로 규정되는데, 일반적으로 km/h로 표시된다. 교통류의 속도를 나타내는 데는 대표값이 사용되어야 하는데, 그 이유는 교통류 내에서 관찰되는 자동차들의 속도가 광범위하게 분포되어 있기 때문이다. 속도는 측정 대상 구간의 길이를 먼저 측정하고, 자동차가 이 구간을 통과하는 데 소요된 평균 주행 시간을 관측한 후, 구간의 길이를 주행 시간으로 나누어서 구한다. 예를 들어, n 대의 자동차가 길이가 L 인 구간을 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 의 시간으로 통행하였다면, 평균 주행속도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S = \frac{L}{\sum_{i=1}^n t_i / n} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

여기서, S : 평균 주행속도(km/h)

L : 도로 구간의 길이(km)

t_i : i 번째 자동차가 이 구간을 통과하는 데 소요되는 주행 시간(시간)

n : 주행 시간 관측 횟수

평균 주행속도(average running speed)와 비슷한 척도인 평균 통행속도(average travel speed)는 어떤 도로 구간의 길이를 이 구간을 통행하는 데 소요되는 평균 통행 시간으로 나눈 값이다. 이때의 평균 통행 시간은 자동차가 통행 중에 정지하는 것까지 포함한 시간을 의

미한다. 따라서, 평균 통행속도의 계산에는 고정된 교통 방해 시설(교통신호등, 정지표지, 양보표지 등)이나 교통 혼란으로 인하여 발생하는 통행 시간이 포함된 총 통행 시간을 사용한다. 교통 혼란이 없는 상태에서는 평균 통행속도와 평균 주행속도는 같다.

(4) 밀 도

밀도(density)는 특정 시각, 단위 구간에 들어 있는 차량의 대수를 말한다. 밀도는 운전자들이 원하는 대로 움직일 수 있는지의 여부 또는 고속국도 통행의 안전 측면에서 매우 중요한 앞뒤 차량과의 거리를 나타낼 수 있는 좋은 기준이므로 고속국도 서비스수준을 나타내는 주 효과척도로 사용한다. 단위는 보통 (대/km)로 표시한다.

밀도의 측정 방법에는 현장 측정 방법과 식을 이용하는 방법이 있다. 현장 측정 방법으로는, 도로 구간을 관찰할 수 있는 높은 위치에서 관측하여 측정하는 방법으로, 최근에는 드론을 이용한 항공촬영을 통해 조사가 가능하다. 식을 이용하는 방법은 밀도를 평균 통행속도와 교통류율로부터 계산하는 방법으로, 이용되는 식은 다음과 같다.

$$D = V_t / S$$

여기서, D : 밀도(대/km)

V_t : 교통류율(대/시)

S : 평균 통행속도(km/h)

따라서, 교통류율이 2,000대/시이고 평균 통행속도가 50 km/h인 도로 구간의 밀도는 40대/km(= 2,000/50)이다.

밀도는 교통 운영 상태를 나타내는 중요한 변수의 하나이며, 자동차들 간의 근접된 정도를 나타내므로, 교통류 내에서의 통행 자유도를 반영한다.

(5) 연속류의 속도, 밀도, 교통량 관계

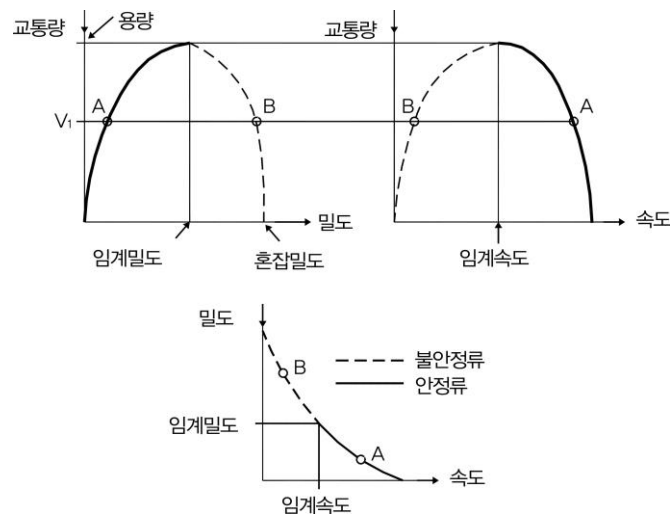
연속류의 흐름을 설명하는 세 척도는 [교통량 = 속도×밀도] 관계에 있으며, 이를 이용하면 속도와 밀도의 곱이 무한한 값이라도 교통량은 계산될 수 있다. 하지만, 실제로 주어진 도로 구간에서 생길 수 있는 교통 흐름은 그 밖의 변수들에 따라 제한된다.

주어진 도로의 최대 교통류율은 그 도로의 용량이 되는데, 이때의 밀도를 임계 밀도(critical density)라 하며, 이때의 속도를 임계 속도(critical speed)라 한다.

용량에 접근할수록 교통류 내에서의 차간 간격(gap)이 좁아지기 때문에 불안정한 흐름으로 바뀌어 가며, 용량 상태에서는 교통류 내에서 사용할 수 있는 간격이 거의 없기 때문에 도로를 출입하는 자동차와 교통류 내에서의 차로 변경 등으로 인한 혼잡이 생기고, 이렇게 발생

한 혼잡은 쉽게 해소되지 않는다. 그러므로 용량 상태 또는 용량에 근접한 상태로 운행되는 도로의 경우, 대부분 상류 쪽에 차량 행렬이 형성되며, 불안정한 흐름 또는 교통 와해 상태가 필연적으로 발생한다. 그래서 도로를 설계할 때에는 해당 도로의 용량 이하의 상태에서 운용되도록 설계를 해야 한다.

그림 4.1은 연속류를 설명하는 세 변수의 기본적인 관계를 나타낸 것이다. 이들 관계의 모양은 모든 연속류 도로에서 비슷하지만 정확한 모양과 값은 조사 구간의 도로 조건과 교통 조건에 따라 결정된다.



〈그림 4.1〉 연속류의 속도와 밀도와 교통량 관계

그림 4.1에 표시한 것과 같이 용량 이하의 교통량은 다음과 같은 두 가지 다른 조건에서 발생한다. 한 경우는, 높은 속도와 낮은 밀도 상태, 다른 경우는 낮은 속도와 높은 밀도 상태에서 발생한다. 곡선 중 낮은 속도, 높은 밀도 부분은 불안정류를 나타내며, 이는 강제류, 와해 상태를 나타내는 것이다. 그리고 높은 속도, 낮은 밀도 부분은 안정류를 나타내며, 도로용량 분석의 관심 대상이기도 하다.

서비스수준 A~D는 안정류 부분, 서비스수준 E~F는 불안정류라 하며, 서비스수준 E의 최대 교통류율을 도로의 용량이라고 한다(4.3 서비스수준의 표 4.2 참조).

4.5 도로의 구간별 분석

도로의 구간별 분석과 설계는 각 도로 구간의 형태에 따른 교통류의 특성을 분석하여 도로용량과 서비스수준을 산출하고, 이를 바탕으로 원활하고 안전한 교통을 확보할 수 있도록 도로를 설계하여 도로의 효율을 높이고자 함이다.

도로의 용량을 산정하기 위하여 도로용량편람에서는 도로를 고속국도 기본구간, 엇갈림 구간, 연결로 접속부, 연결로-일반도로 결합부, 다차로 도로, 2차로 도로, 신호교차로, 회전교차로, 도시 및 교외 간선도로, 비신호교차로, 자전거도로로 구분하고 있다.

여기에서는 고속국도 기본구간, 엇갈림 구간, 연결로 접속부 그리고 연결로-일반도로 결합부 분석에 대하여 설명한다. 나머지 부분에 대한 내용은 “도로용량편람(국토교통부)”을 참고하기 바란다.

4.5.1 개요

고속국도는 완전한 형태의 연속 교통류를 유지하는 도로로서, 교통신호등과 같이 교통류의 운영 상태에 영향을 미치는 시설 요인이 없는 도로를 말한다. 고속국도에는 관련 법규에 따른 고속국도와 자동차전용도로가 해당된다. 고속국도 교통류의 상태는 교통량과 고속국도의 선형에 주로 영향을 받는다. 또, 자동차 운행 상태는 주변 여건 즉 기후, 포장 상태 또는 교통사고 발생 등에 영향을 받는다.

고속국도는 중앙분리대가 설치되어 있고, 한 방향 2차로 이상의 차로를 가진 최상급 도로로서, 이 도로를 이용하는 차량은 반드시 연결로를 통해서만 본선으로 출입할 수 있는 완전 출입통제 방식을 취한다.

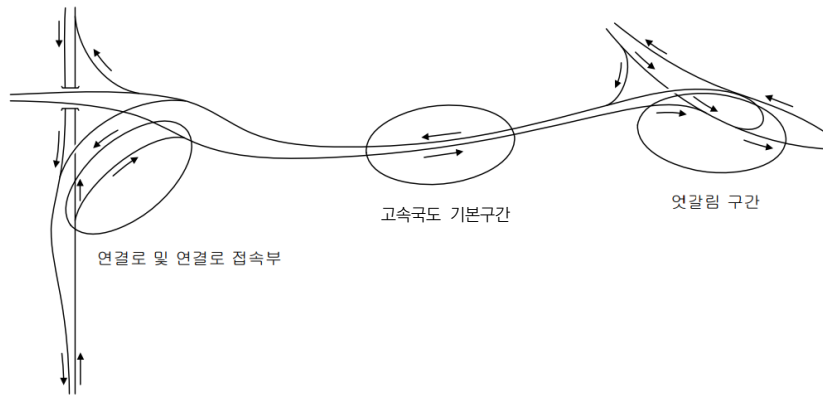
4.5.2 고속국도 구성 요소

(1) 개요

고속국도는 다음 그림 4.2에서 보는 것처럼 고속국도 기본구간, 엇갈림구간, 연결로 접속부로 구성되어 있다.

(2) 고속국도 기본구간

엇갈림 구간, 연결로 접속부에서 엇갈림과 합류 및 분류 차량의 영향을 받지 않는 구간을 말한다. 즉, 고속국도 부가차로(가·감속차로)가 없는 본선 구간을 의미한다.



〈그림 4.2〉 고속국도 구성 요소

(3) 엇갈림 구간

교통 통제 시설의 도움 없이 두 교통류가 같은 방향으로 상당히 긴 구간을 주행하면서 서로 다른 방향으로 엇갈리는 구간을 말한다. 엇갈림은 합류부에 이어 분류부가 있는 구간 또는 유입 연결로 바로 다음에 유출 연결로가 있어 이 두 연결로가 연속된 보조 차로로 연결되어 있는 구간에서 발생한다.

(4) 연결로 접속부

연결로란 고속국도 본선과 접속도로, 또는 고속국도 본선과 본선을 연결시키는 도로를 말하며, 연결로 접속부란 유입 연결로 또는 유출 연결로가 고속국도 본선에 접속되는 구간을 말한다. 연결로 접속부에는 합류 또는 분류하는 자동차가 집중되므로, 이 구간에서 본선의 교통 흐름이 원활하지 못하다.

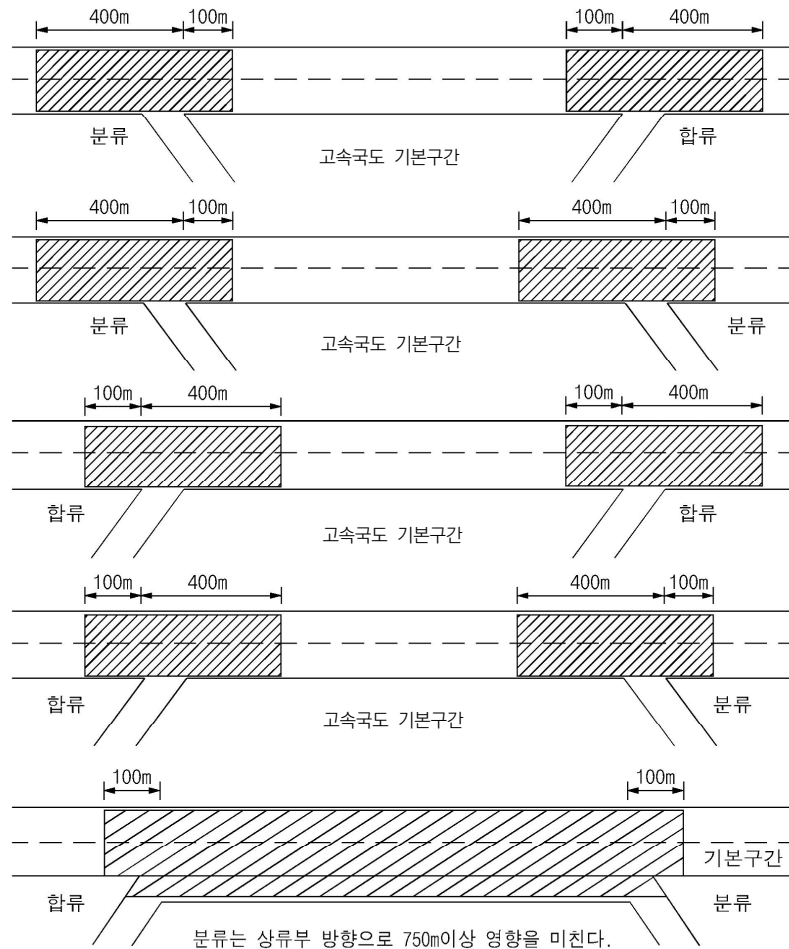
(5) 연결로-일반도로 결합부

연결로-일반도로 결합부란 자동차가 고속주행의 본선에서 진행 경로를 바꾸어 주행할 수 있도록 본선과 분리하여 설치된 연결로와 일반도로를 연결하는 시설물을 의미한다. 연결로-일반도로 결합부의 운영 상태는 고속주행 본선과 연결 가로망의 용량 및 서비스수준에 직접적인 영향을 미치므로 효율적인 운영을 위한 시설물의 용량 및 서비스수준 분석이 필수적이다. 연결로-일반도로 결합부의 운영 형태는 유출, 유입, 엇갈림, 교차와 같이 네 가지로 분류된다. 도로용량편람에서는 신호화된 다이아몬드형 인터체인지의 용량 및 서비스수준 분석 방법

론은 신호교차로의 용량 및 서비스수준 분석 방법론에 기초하기 때문에 여기에서는 다루지 않았다.

(6) 엇갈림 구간과 연결로 접속부의 영향권

엇갈림 구간이나 연결로 접속부의 영향권은 도로·교통 조건에 따라 변한다. 정상적인 상태인 경우에는 용량 상태에 가까워질 때 그리고, 교통사고가 일어나거나 교통수요가 늘어나 해당 구간이 혼잡할 때에는 혼잡 발생 지점부터 상당히 긴 상류부에게까지 영향이 미친다. 일반적으로 엇갈림 구간 또는 연결로 접속부의 영향권은 그림 4.3과 같이 설정하며, 이 영향권에 따라 구간을 분할하여 서비스수준을 분석한다.



〈그림 4.3〉 고속국도 구성 요소의 영향권

- ① 엇갈림 구간 : 엇갈림이 시작되는 진입 연결로의 100 m 상류 지점으로부터 엇갈림이 끝나는 진출 연결로의 100 m 하류 지점까지의 구간
- ② 진입 연결로 : 연결로 접속부의 100 m 상류 지점부터 400 m 하류 지점까지의 구간
- ③ 진출 연결로 : 연결로 접속부의 400 m 상류 지점부터 100 m 하류 지점까지의 구간이
영향권은 교통 흐름이 정상적일 때의 경우이고, 교통사고가 발생하거나 교통수요가 많아서 정체가 생긴 상태에서는 이들 영향권은 더 길어질 수도 있다.

그림 4.3은 이들 구성 요소들의 영향권을 나타낸 것이다. 고속국도 전체의 도로용량을 추정하기 위하여, 그리고 병목현상이 발생할 소지가 있는 지점을 확인하기 위하여 각 구성 요소들을 통합적인 방법으로 분석해야 한다.

4.5.3 고속국도 기본구간의 용량 분석

(1) 서비스 교통량

도로의 용량은 기본 조건의 용량과 주어진 조건의 용량으로 구분한다. 대부분의 도로는 기본 조건을 만족하지 못하기 때문에 각 구간의 도로용량은 주어진 조건에 따라 다르다. 주어진 특정 구간의 용량은 기본 조건의 도로용량에 도로 및 교통 조건에 따른 감소 요인을 반영한 보정계수를 곱하여 구한다. 고속국도 기본구간의 서비스 교통량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$SF_i = C_j \times (V/C)_i \times n \times f_w \times f_{HV}$$

여기서, SF_i : 서비스수준 i 에서, 주어진 교통 조건 및 도로 조건에서 차로수 N 에 대한 서비스 교통량(대/시)

C_j : j 설계속도의 용량(pcphp)(표 4.4 참조)

$(V/C)_i$: 서비스수준 i 에서 교통량 대 용량 비(표 4.4 참조)

N : 한 방향 차로수

f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수(표 4.5 참조)

f_{HV} : 중차량보정계수

일반지형일 경우

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{T_0}(E_{T_0} - 1) + P_{T_1}(E_{T_1} - 1) + P_{T_2}(E_{T_2} - 1)} \quad (\text{평지})$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{T_0}(E_{T_0} - 1) + P_{T_1, T_2}(E_{T_1, T_2} - 1)} \quad (\text{구릉지, 산지})$$

특수 경사구간일 경우

$$f_{HV} = \frac{1}{[1 + P_{HV} (E_{HV} - 1)]}$$

여기서,

E_{T_0} , E_{T_1} , E_{T_2} : 소형, 중형, 대형 중차량의 승용차환산계수(표 4.6 참조)

P_{T_0} , P_{T_1} , P_{T_2} : 소형, 중형, 대형 중차량의 구성비

E_{HV} : 중차량에 대한 승용차환산계수(표 4.7 참조)

P_{HV} : 중차량 구성비

(2) 서비스수준

고속국도 기본 구간의 서비스수준은 밀도를 주 효과척도로 하여 판정한다. 표 4.4는 설계속도별 서비스수준이다. 서비스수준 A와 D의 최대 밀도 값은 관측 자료를 바탕으로 한 것이다. 서비스수준 E의 최대 밀도값은 용량 상태에서 교통류가 지속적으로 발생할 경우 예상되는 최대값이다. 이 표에서 교통량과 관련된 척도(교통량, V/C)는 기본 조건에 대한 것으로 도로 및 교통 조건이 바뀔 경우 적용에 유의할 필요가 있다. 정체 상태를 나타내는 서비스수준 F는 고속국도에서 대기 행렬이 형성되었을 때 발생된다. 서비스수준 F의 밀도는 발생된 대기 행렬 내에서 급격하게 증가하는 경향이 있고 서비스수준 E의 밀도 기준보다 급격하게 커진다.

〈표 4.4〉 고속국도 기본 구간의 서비스수준

서비스 수준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도 120kph		설계속도 100kph		설계속도 80kph	
		교통량 (pcphpl)	v / c비	교통량 (pcphpl)	v / c비	교통량 (pcphpl)	v / c비
A	≤ 6	≤ 700	≤ 0.3	≤ 600	≤ 0.27	≤ 500	≤ 0.25
B	≤ 10	≤ 1,150	≤ 0.5	≤ 1,000	≤ 0.45	≤ 800	≤ 0.40
C	≤ 14	≤ 1,500	≤ 0.65	≤ 1,350	≤ 0.61	≤ 1,150	≤ 0.58
D	≤ 19	≤ 1,900	≤ 0.83	≤ 1,750	≤ 0.8	≤ 1,500	≤ 0.75
E	≤ 28	≤ 2,300	≤ 1.00	≤ 2,200	≤ 1.00	≤ 2,000	≤ 1.00
F	> 28	—	—	—	—	—	—

주) 이 표의 교통량 관련 기준은 각 설계속도 수준에서 기본 조건의 도로 및 교통상태에서 정해진 것임

(3) 용량 보정계수

도로의 교통 운행 상태를 분석하기 위해서는 분석 구간을 결정하고, 분석에 필요한 자료를 조사해야 한다. 분석 구간은 도로 조건과 교통 조건이 거의 동일해야 하며, 분석에 필요한 자료는 교통량, 첨두시간계수, 차종별 구성비, 차로폭 및 측방여유폭, 종단경사와 종단경사 길이 등이다.

(a) 차로폭 및 측방여유폭에 대한 보정계수

차로폭 및 측방여유폭에 대한 보정계수는 차로폭과 측방여유폭이 교통류에 미치는 영향을 반영하는 보정계수이다. 차로폭 및 측방여유폭에 대한 보정계수(f_w)는 기본 조건인 차로폭 3.5 m 이상과 측방여유폭 1.5 m 이상을 기준으로 하여 산출한다. 표 4.5는 고속국도 차로폭 및 측방여유폭에 대한 보정계수이다.

〈표 4.5〉 고속국도 기본구간의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

측방 여유폭 (m)	한 쪽에만 장애물이 있을 때				양 쪽에 장애물이 있을 때				
	차 로 폭 (m)								
	3.50	3.25	3.00	2.75	3.50	3.25	3.00	2.75	
	4차로(편도 2차로) 고속국도								
	1.5	1.00	0.96	0.90	0.80	0.99	0.96	0.90	0.80
	1.0	0.98	0.95	0.89	0.79	0.96	0.93	0.87	0.77
	0.5	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
	0.0	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
	6차로 이상(편도 3차로 이상)인 고속국도								
	1.5	1.00	0.95	0.88	0.77	0.99	0.95	0.88	0.77
	1.0	0.98	0.94	0.87	0.76	0.97	0.93	0.86	0.76
	0.5	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
	0.0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

주) 양 쪽에 장애물이 있는 경우, 측방여유폭은 양 쪽 장애물 거리의 평균값임.

(b) 일반지형의 중차량보정계수

중차량보정계수는 중차량이 교통류에 미치는 영향을 나타내기 위한 보정계수이다. 중차량에 대한 보정계수를 얻기 위해서는 다음 2가지 단계를 거쳐야 한다.

- ① 해당 도로의 교통 조건 및 도로 조건을 고려하여, 중차량에 대한 승용차환산계수를 산출한다. 중차량의 차종 분류는 평지 구간에서 2.5톤 미만의 트럭과 16인승 미만 승

합차는 소형, 2.5톤 이상의 트럭과 16인승 이상 버스는 중형, 세미 트레일러 또는 풀 트레일러는 대형으로 각각 구분하고 경사 구간에서는 모든 중차량을 하나의 중차량으로 간주한다.

- ② ①단계에서 산출한 승용차환산계수와 각 중차량의 구성비를 고려하여 지형별로 중차량보정계수(f_{HV})를 결정한다.

〈표 4.6〉 고속국도 기본구간 일반지형의 승용차 환산계수

차종 구분 \ 지 형	평 지	구 령 지	산 지
소 형(E_{T_0}) (2.5톤 미만 트럭, 16인승 미만 승합차)	1.0	1.2	1.5
중 형(E_{T_1}) (2.5톤 이상 트럭, 16인승 이상 버스)	1.5	3.0	5.0
대 형(E_{T_2}) (세미 트레일러 또는 풀 트레일러)	2.0		

(c) 특정경사구간의 중차량보정계수

단, 특정 경사 구간에서는 모든 중차량을 하나의 중차량으로 간주하고, 중차량에 대한 승용차환산계수는 표 4.7과 같이 적용한다.

〈표 4.7〉 고속국도 기본구간 특정경사구간의 승용차환산계수

경사 (%)	경사 길이 (km)	중차량 구성 비율(%)					
		≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	> 40
< 2	모든 경우	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
< 3	≤ 0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.8	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	≤ 2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.5	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
< 4	≤ 0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.2	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.5	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
	≤ 1.8	3.5	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.8	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0

경사 (%)	경사 길이 (km)	중차량 구성 비율(%)					
		≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	> 40
< 5	≤ 0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 0.8	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	≤ 1.0	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0
	≤ 1.5	5.0	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0
	> 1.5	5.5	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5
< 6	≤ 0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
	≤ 0.8	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0
	≤ 1.0	6.0	4.5	4.0	3.0	3.0	2.5
	≤ 1.5	6.5	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0
	> 1.5	7.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
< 7	≤ 0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	≤ 0.5	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0
	≤ 0.8	6.0	4.5	4.0	3.0	2.5	2.5
	≤ 1.0	7.5	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5
	≤ 1.5	8.0	6.0	5.5	5.0	4.0	3.5
	> 1.5	8.0	6.5	5.5	5.0	4.0	3.5
< 8	≤ 0.4	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
	≤ 0.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0
	≤ 0.8	8.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5
	≤ 1.0	9.0	7.5	6.5	6.0	5.0	4.0
	≤ 1.5	9.5	7.5	7.0	6.0	5.0	4.0
	> 1.5	9.5	7.5	7.0	6.0	5.0	4.0
≥ 8	≤ 0.4	5.0	3.5	3.0	2.0	2.0	2.0
	≤ 0.5	8.0	6.0	5.5	4.0	4.0	3.5
	≤ 0.8	10.0	8.0	7.0	6.5	5.5	4.5
	≤ 1.0	10.5	9.0	8.0	7.0	5.5	4.5
	≤ 1.5	11.0	9.0	8.0	7.0	5.5	4.5
	> 1.5	11.0	9.0	8.0	7.0	5.5	4.5

(4) 고속국도 분석 대상 구간의 분할

용량이나 서비스수준의 분석 대상 구간은 교통 조건과 도로 조건이 가능한 같아야 한다(동질성 구간). 고속국도에는 동질성 구간을 세분하기 위한 경계가 있다. 예를 들면, 교통량의 변화가 있는 연결로 접속부나 특정 경사 구간의 시·종점이 동질성 구간을 나누는 경계로 이용된다.

고속국도 분석 대상 구간을 분할하는 데에는 다음과 같은 특징들을 이용하여 분석 대상 구간을 분할하여 분석해야 한다.

- 연결로 접속부
- 차로수가 변하는 구간
- 차로폭 및 측방여유폭이 변하는 구간
- 특정경사구간

(5) 기타 특수한 경우의 용량 분석

(a) 복합경사구간의 분석

대부분 고속국도의 종단선형은 연속적으로 다양한 경사로 구성되어 있다. 이런 다양한 경사 구간에서 중차량의 영향을 분석하기 위해서는 우선 분석 대상 지점의 평균 경사를 산정할 필요가 있다. 평균 경사는 복합경사의 시작점부터 분석 대상 지점까지의 높이를 전체 경사 길이로 나누어 구한다.

평균 경사 방법은 모든 경사가 4% 이하일 때 혹은 복합경사의 총 길이가 1,000 m보다 짧을 때 적용된다. 이보다 더 심한 경사로 이루어졌을 경우, 상세한 적용 방법은 도로용량편람 부록에 상세히 기술되어 있다.

(b) 도로점용공사(work-zone)와 기상악화/악천후(inclement weather) 시 분석

도로점용공사는 고속국도의 각종 유지보수 활동 때문에 본선의 차로를 하나 이상 점용하고 시행되는 단·중기 공사를 의미하며, 악천후는 본선에 내리는 강우, 강설 그리고 어둠(darkness)을 포함한다. 이러한 공사 및 강우, 강설, 주·야 등 악천후의 영향을 반영한 고속국도 용량은 아래의 공식처럼 정상적인 상황에서의 계획 및 운영 분석에 쓰이는 특정 차로 그룹의 용량에 공사구간 보정계수(f_{wz}), 날씨보정계수(f_{tw}), 주 야간 보정계수(f_{dk})를 선택적으로 적용하여 산정하도록 한다.

고속국도의 일반적인 분석은 특수 상황 조건을 전혀 고려하고 있지 않으므로 시설의 합리적인 운영을 위해서는 빈번한 도로상의 유지보수공사와 국지적이고 돌발적인 기상악화가 가지는 반복적인 용량 감소 영향을 이해하고, 특정 노선, 특정 구간의 운영상태 분석을 통한 사전적 계획과 대응 전략 마련에 힘을 기울일 필요가 있다. 상세한 적용 방법은 도로용량편람을 참고하도록 한다.

4.5.4 엇갈림 구간

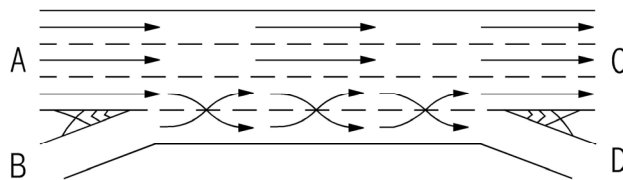
(1) 기본 사항

엇갈림이란 교통 통제 시설의 도움 없이 상당히 긴 구간을 주행하면서 같은 방향의 두 교통류가 차로를 바꾸는 교통 현상을 말한다. 엇갈림 구간은 합류 구간 바로 다음에 분류 구간이 있을 때 또는 유입 연결로 바로 다음에 유출 연결로가 있을 때, 이 두 지점이 연속된 보조 차로로 연결되어 있는 구간이다. 엇갈림 구간의 운행 특성은 엇갈림 구간의 형태와 길이 및 폭에 영향을 받는다. 엇갈림구간의 분석체계는 본선-연결로 엇갈림 형태와 연결로-연결로 엇갈림 형태에 적용할 수 있다. 다른 대부분의 엇갈림 형태는 고속 통행이 요구되는 고속국도의 위계상 안전과 흐름상의 장애 요인이 되므로 설계 시에는 이를 고려하지 않는 것이 바람직하다.

(가) 개 요

엇갈림 구간은 운전자들이 원하는 도로 지점으로 접근하기 위하여 필수적인 차로 변경이 요구되는 구간으로 다른 도로 구간보다는 상충 빈도가 높아 교통 혼잡이나 사고 발생 가능성이 더 높다. 이러한 교통류 형태가 발생하는 구간에 대해서는 도로 설계 단계에서부터 적절히 대처하지 않으면 교통혼잡과 교통사고 발생의 가능성도 대단히 커지게 되며, 운영 단계에서도 구조적인 한계는 있지만 그에 상응하는 조치가 요구된다.

이 요령에서 제시하는 방법론은 기본적으로 고속국도에 적용할 수 있으며, 고속국도 이외의 자동차전용도로나 설계 수준이 높은 지방지역 일반도로에도 적용할 수 있다. 엇갈림 구간의 형태면에서는 하나의 유입 연결로 다음에 유출 연결로가 보조 차로로 이어져 있는 본선-연결로 엇갈림 형태와 그 변형인 연결로-연결로 엇갈림 형태에 적용할 수 있다. 다른 형태의 엇갈림 구간은 본 요령에서 다루지 않는다.



〈그림 4.4〉 엇갈림 구간의 교통 흐름

(나) 엇갈림 구간의 특성

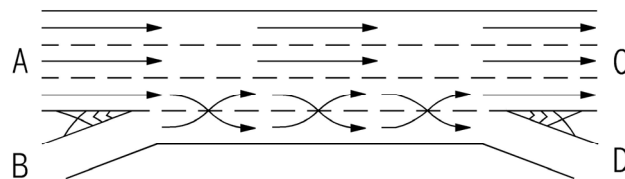
엇갈림 구간의 교통류 특성에 영향을 미치는 도로 기하구조 요소에는 다음 3가지가 있다.

① 엇갈림 구간의 형태

엇갈림 구간의 형태는 엇갈림을 하는 차량이 차로를 변경해야 하는 최소 횡수와 출입 지점의 위치에 따라 여러 가지 형태가 생긴다. 차로 변경 횡수는 진입 차로와 진출 차로의 위치와 차로수에 따라 결정되는데, 이들은 차로 변경을 포함한 엇갈림 구간의 운행 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 엇갈림 구간의 설계에서 매우 중요하다.

(a) 본선-연결로 엇갈림

본선-연결로 엇갈림 형태는 각각의 엇갈림 차량들이 원하는 방향으로 주행하기 위하여 반드시 한 번의 차로 변경을 해야 하는 구간을 말한다. 즉, 진입 연결로 다음에 진출 연결로가 위치하며, 두 연결로가 연속된 보조차로로 연결된 구간을 말한다. 본선에 진입하는 연결로 차량은 본선 측 인접 차로로 들어가기 위하여 보조차로에서 차로를 변경해야 하며, 본선에서 진출하는 연결로 차량은 본선 측 인접 차로에서 보조차로로 차로를 변경해야 한다.

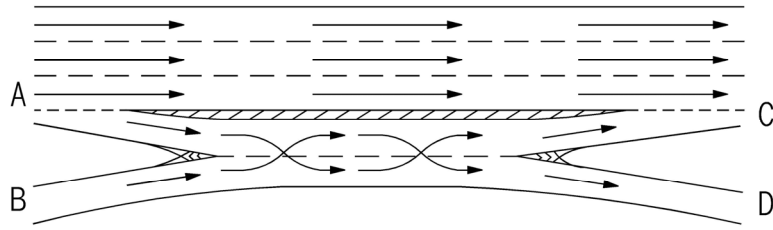


〈그림 4.5〉 본선-연결로 엇갈림 형태

(b) 연결로-연결로 엇갈림

연결로-연결로 엇갈림 형태는 본선-연결로 엇갈림을 본선이 아닌 본선에 연접 설치되어 집산도로 기능을 하는 측도에서 일어나게 한 형태로서, 본선에서 연결로로 진출하는 교통류(A→D 방향)와, 연결로에서 본선으로 진입하는 교통류(B→C 방향)가 엇갈리기 때문에, 이 엇갈림 구간내의 모든 차량은 한 번의 차로 변경을 반드시 해야 한다.

연결로-연결로 엇갈림 형태는 고속 교통에 부적합한 엇갈림이라는 교통 현상을 저속 교통 기능의 도로인 집산도로로 이격시켜 처리한 바람직한 설계 형태라고 볼 수 있다.



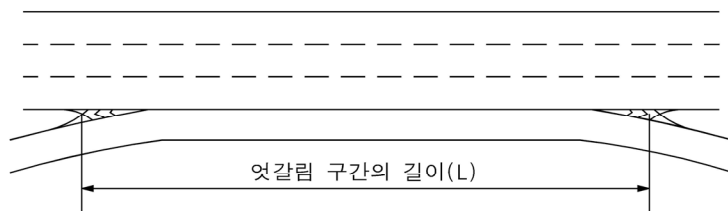
〈그림 4.6〉 연결로-연결로 엇갈림 형태

② 엇갈림 구간의 길이

엇갈림 구간 길이는 그림 4.7에서 엇갈림 구간 진입로와 본선이 만나는 지점에서 진출로 시작 부분까지의 거리 즉, 물리적인 고어부 사이의 거리로 한다.

엇갈림 구간의 길이는 본선-연결로 엇갈림 구간의 경우 최소 200 m를 넘게 하는 것이 통행 안전상 바람직하며, 750 m를 넘는 경우 엇갈림이 일어난다기보다는 합류와 분류 움직임이 독립적으로 본선 교통류에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이 경우에는 독립된 유출입로로 간주하여 연결로 접속부의 분석 절차에 따라 서비스수준 등을 분석하면 된다. 연결로-연결로 엇갈림 구간의 길이는 두 연결로의 본선 진출부와 진입부 사이의 거리에 좌우되는데, 이 길이를 최소 150 m로 한다. 이는 연결로-연결로 엇갈림 구간이 집산도로 기능을 하는 측도에 설치되기 때문에 그 설계 수준이 낮고 위계 차이가 적음을 고려한 것이다.

여기에서 제시하는 분석 방법은 엇갈림 구간의 길이가 750 m 이하일 경우에 적용해야 한다. 엇갈림 구간의 길이가 750 m 이상인 구간에서는 엇갈림이 일어난다기보다는 합류와 분류 움직임이 독립적으로 교통류에 영향을 미친다고 볼 수 있으므로, ‘4.5.5 고속국도 연결로 접속부’의 분석 방법을 이용해야 한다.



〈그림 4.7〉 엇갈림 구간의 길이

③ 엇갈림 구간의 폭(차로수)

엇갈림 구간의 차로수로 표현되는 엇갈림 구간의 폭도 이 구간의 운영 상태에 큰 영향을 미치는 요소이다. 엇갈림 구간의 폭이 넓을수록 엇갈림 교통류가 이 구간에 미치는 영향은 작으며, 통행속도도 그만큼 덜 제약을 받는다.

(2) 엇갈림 구간의 서비스수준

엇갈림 구간의 효과척도로는 평균 밀도를 이용한다. 엇갈림구간의 분석을 위하여 가장 중요한 절차는 엇갈림 구간 내의 엇갈림 교통류와 비엇갈림 교통류의 공간 평균 속도를 산출하는 것이다. 엇갈림 구간의 평균 통행속도는 비엇갈림 교통류의 평균 통행속도(S_{nw})와 엇갈림 교통류의 평균 통행속도(S_w)로 나누어 추정하며, 추정식은 다음과 같다.

$$S_{nw} \text{ 또는 } S_w = 30 + \frac{[(S_D + 10) - 30]}{1 + W_{nw} \text{ (또는 } W_w)}$$

속도 추정식 또는 현장 조사에 따라 산출된 엇갈림 속도와 비엇갈림 속도를 토대로 엇갈림 구간 내의 평균 속도를 계산한 후, 평균 밀도를 산출한다.

$$S = \frac{V}{\frac{V_w}{S_w} + \frac{V_{nw}}{S_{nw}}}$$

$$D = \frac{V/N}{S}$$

여기서, S : 엇갈림 구간의 모든 차량에 대한 평균 속도(kph)

S_{nw} : 비엇갈림 교통류의 평균 통행속도(km/h)

S_w : 엇갈림 교통류의 평균 통행속도(km/h)

W_{nw} : 비엇갈림 교통류 엇갈림 계수 $= 0.00000054 \times (1 + VR)^{0.68} (V/N)^{2.0} / L^{0.17}$

W_w : 엇갈림 교통류 엇갈림 계수 $= 0.059 \times (1 + VR)^{2.2} (V/N)^{0.97} / L^{0.80}$

S_D : 본선의 설계속도(km/h)

V_w : 엇갈림 교통량(승용차/시)

V_{nw} : 비엇갈림 교통량(pcp/h)

V : 엇갈림 구간의 전체 교통량(승용차/시)

VR : 엇갈림 교통량 비(Volume ratio, V_w/V)

N : 엇갈림 구간의 전체 차로수

D : 엇갈림 구간의 평균 밀도(pcpkmp/h)

속도 산출 시 관련 변수들을 적용할 때에는 다음의 적용 한계를 고려해야 하며, 이를 초과하는 경우는 적용상의 주의가 요구된다.

- ① 엇갈림 교통량 비(VR) ≤ 0.50 ($N=3$, 본선 차로수 = 2 인 경우)
 ≤ 0.45 ($N=4$, 본선 차로수 = 3 인 경우)
 ≤ 0.40 ($N=5$, 본선 차로수 = 4 인 경우)

② 엇갈림 구간 교통량

- 본선-연결로 엇갈림 구간의 총 교통량(V/N) $\leq 2,000$ pcphpl
- 본선-연결로 엇갈림 구간의 엇갈림 교통량(V_w) $\leq 2,800$ pcph
- 연결로-연결로 엇갈림 구간의 엇갈림 교통량(V_w) $\leq 3,000$ pcph

연결로-연결로 엇갈림 구간의 경우, 교통류 특성상 엇갈림 속도와 비엇갈림 속도의 구분이 불필요하며, 모든 사업 단계에서 별도의 속도 산출 과정을 거치지 않고 교통량을 바탕으로 서비스수준을 판단한다(표 4.8 참조). 운영 분석 단계에서 보다 정확한 서비스수준 분석이 필요할 경우 현장 조사된 속도와 교통량에 따라 산출된 평균 밀도로 해당 엇갈림 구간의 서비스수준을 판정한다. 또, 연결로-연결로 엇갈림 구간은 그 자체의 서비스수준뿐만 아니라 인접 상류부 연결로 접속부(분류부)와 하류부 연결로 접속부(합류부)의 서비스수준을 함께 분석하여 해당 구역의 서비스수준을 시스템 차원에서 분석할 필요가 있다.

〈표 4.8〉 엇갈림 구간의 서비스수준

서비스수준	밀도(D, pcpkmpl)	
	본선-연결로 엇갈림 구간	연결로-연결로 엇갈림 구간
A	≤ 6	≤ 8
B	≤ 12	≤ 13
C	≤ 17	≤ 18
D	≤ 22	≤ 25
E	≤ 27	≤ 38
F	> 27	> 38

엇갈림 구간의 용량은 용량 상태의 밀도값을 기준으로 산출하였는데, 본선-연결로 엇갈림 구간의 경우 27pcpkmpl, 연결로-연결로 엇갈림 구간의 경우 37.5pcpkmpl에 해당하는 서비스수준 E의 최대 교통량으로 정의된다.

따라서, 용량은 설계속도, 엇갈림 구간의 길이, 교통량 비 그리고 차로수에 따라 변한다. 표 4.9는 이들 변수에 대한 본선-연결로 엇갈림 구간의 용량을 나타낸 것이다. 이 용량은 본선-연결로 엇갈림 구간을 설계할 때 수요에 따른 한계값 점점 시 사용한다.

〈표 4.9〉 본선-연결로 엇갈림 구간의 용량

(a) 설계속도 100kph 이상

(단위 : pcph)

교통량 비 (VR)	엇갈림 구간 길이(L, m)			
	150	300	450	600
N = 3(본선 2차로)				
0.10	5,100	5,200	5,400	5,500
0.20	5,000	5,100	5,300	5,400
0.30	4,900	5,000	5,200	5,300
0.40	4,800	4,900	5,100	5,200
N = 4(본선 3차로)				
0.10	6,900	7,100	7,300	7,500
0.20	6,800	7,000	7,200	7,400
0.30	6,600	6,800	7,100	7,300
0.40	6,500	6,700	7,000	7,200
N = 5(본선 4차로)				
0.10	8,600	8,900	9,200	9,300
0.20	8,400	8,700	9,000	9,200
0.30	8,200	8,600	8,900	9,100
0.40	8,100	8,400	8,800	9,000

(b) 설계속도 80kph

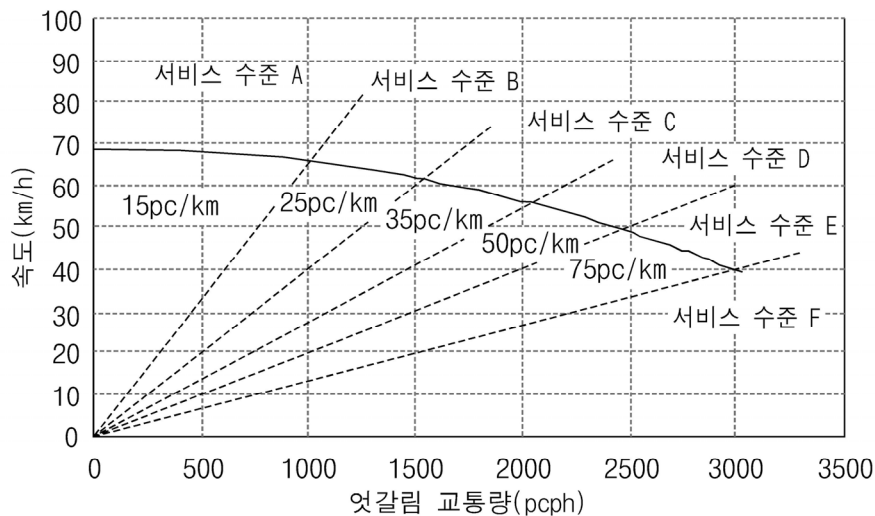
(단위 : pcph)

교통량 비 (VR)	엇갈림 구간 길이(L, m)			
	150	300	450	600
N = 3(본선 2차로)				
0.10	4,600	4,800	4,900	5,000
0.20	4,500	4,700	4,800	4,900
0.30	4,400	4,600	4,700	4,800
0.40	4,300	4,500	4,600	4,700
N = 4(본선 3차로)				
0.10	6,200	6,400	6,600	6,700
0.20	6,100	6,300	6,500	6,600
0.30	5,900	6,200	6,400	6,500
0.40	5,700	6,100	6,300	6,400
N = 5(본선 4차로)				
0.10	7,800	8,000	8,300	8,400
0.20	7,700	7,900	8,200	8,300
0.30	7,600	7,800	8,100	8,200
0.40	7,300	7,600	8,000	8,100

연결로-연결로 잇갈림 구간의 경우, 설계 수준이 낮고 잇갈림 공간상의 제약이 따르므로 본 선-연결로 잇갈림 구간처럼 관련 변수에 따른 용량 등 교통 특성 변수의 민감도가 떨어진다. 따라서, 연결로-연결로 잇갈림 구간에서는 현장 설계 및 운행 여건을 고려하여 표 4.10과 그림 4.8과 같이 서비스수준별 밀도와 교통량, V/C, 속도 등의 총괄적인 기준을 적용한다.

〈표 4.10〉 연결로-연결로 잇갈림 구간의 서비스수준별 최대 교통량과 속도 기준

서비스수준	밀도 (pc/kmpl)	교통량 (pcph)	V/C 비	속도 (kph)
A	≤ 7.5	≤ 1,000	≤ 0.16	≥ 65
B	≤ 12.5	≤ 1,500	≤ 0.33	≥ 60
C	≤ 17.5	≤ 2,000	≤ 0.58	≥ 55
D	≤ 25.0	≤ 2,500	≤ 0.83	≥ 50
E	≤ 37.5	≤ 3,000	≤ 1.00	≥ 40
F	> 37.5	< 3,000	< 1.00	< 40



〈그림 4.8〉 연결로-연결로 잇갈림 구간의 서비스수준

(3) 엇갈림 구간의 길이

엇갈림 구간 분석 방법론의 적용 절차는 엇갈림 구간의 형태별로 계획 및 설계 단계와 운영 분석 단계로 나누어 적용한다. 이 분석 체계는 국내 엇갈림 구간 중 가장 전형적인 형태인 본선-연결로 엇갈림 구간과 연결로-연결로 엇갈림 구간에 적용할 수 있다.

본선-연결로 엇갈림 구간을 계획하고 설계할 때에는 시행 착오법으로 설계서비스수준에 맞는 엇갈림 구간의 길이를 결정하거나, 추정된 속도와 밀도를 바탕으로 서비스수준을 판정한다. 연결로-연결로 엇갈림 구간을 계획하고 설계할 때에는 주어진 설계 조건에 따른 서비스수준 분석 절차를 주로 적용하며, 엇갈림 구간의 길이는 별도의 결정 절차를 따르는 것보다는 설계 수준상 최소 150 m를 확보하는 것으로 한다.

(가) 계획 및 설계 단계

본선-연결로 엇갈림 구간을 계획하거나 설계할 때 엇갈림 구간의 적정 길이 결정을 위해서는 다음 분석 과정의 1~4 단계를, 단순히 설계 대상 엇갈림 구간의 서비스수준 분석을 위해서는 운영 분석 단계의 분석 절차를 따르면 된다. 엇갈림 구간의 적정 길이를 결정할 때에는 본선 설계속도, 엇갈림 구간을 통행하는 방향별 교통량, 차로수를 토대로 시행 착오법으로 최대 허용 엇갈림 길이 범위 내에서 계획된 서비스수준을 만족하는 적정 엇갈림 구간 길이를 산정한다.

설계속도 100kph 이상인 고속국도의 경우는 원활한 차량 흐름과 안전한 엇갈림 운행을 위하여 엇갈림 구간을 설치하지 않는 것이 바람직하며, 설치할 경우라도 집산도로(측도)를 설치하여 본선보다는 지선에서 엇갈림이 발생하도록 한다.

① 1단계 : 도로 및 교통 조건의 규정과 설계 조건 설정

계획 및 설계 대상 엇갈림 구간에 대하여 다음과 같은 도로 및 교통 조건을 설정한다.

- 도로 조건 : 설계속도, 접근 방향별 차로수, 차로 폭, 최대 허용 엇갈림 구간 길이
- 교통 조건 : 방향별 1시간 교통수요, 중차량 구성비, 첨두시간계수, 승용차환산계수
- 설계 조건 : 설계서비스수준

설계서비스수준은 도시지역의 경우 D 수준, 지방지역의 경우 C 수준으로 한다.

② 2단계 : 교통량의 첨두시간 승용차 교통량 환산 및 변수 한계 점검

첨두시간계수, 중차량 구성비와 승용차환산계수로 방향별 1시간 교통량을 첨두시간 승용차 교통량으로 환산한다. 이때 첨두시간계수는 조사가 불가능할 경우 0.90(도시

지역)~0.95(지방지역) 사이의 값을 적용하며, 승용차환산계수는 고속국도 기본구간의 값을 적용한다.

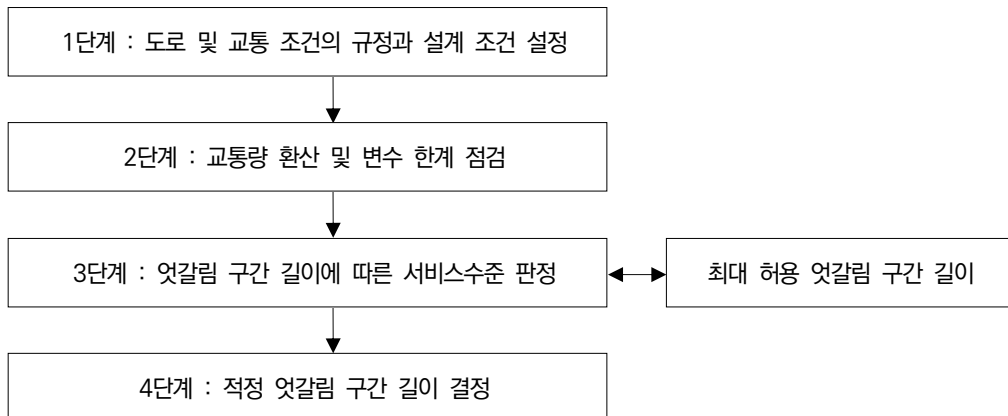
엇갈림 교통량 관련 변수(VR , V/N , V_w)들의 한계를 점검한다.

③ 3단계 : 엇갈림 구간 길이에 따른 서비스수준 판정

예측된 엇갈림 구간의 교통량, 엇갈림 비, 본선 설계속도, 차로수를 토대로 최대 허용 엇갈림 구간 길이부터 시작하여 시행 착오법으로 엇갈림 구간 길이에 따른 서비스수준을 판정한다.

④ 4단계 : 적절한 엇갈림 구간 길이 결정

최종적으로 시행 착오법으로 서비스수준을 만족하는 엇갈림 구간 길이 중에서 적정 엇갈림 구간 길이를 정한다.



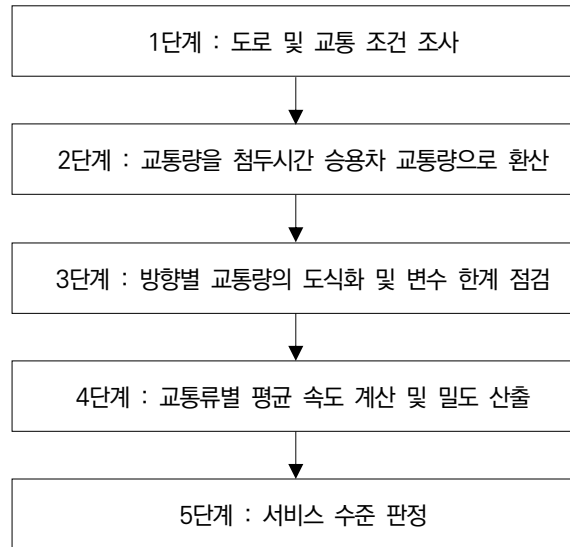
〈그림 4.9〉 엇갈림 구간 계획 및 설계 분석 과정

(나) 운영 분석 단계

운영 분석 단계에서는 본선-연결로 엇갈림 구간의 경우, 비엇갈림 차량과 엇갈림 차량의 속도를 조사 또는 식을 이용하여 계산하고, 이를 교통량으로 가중 평균하여 밀도를 산출하여 이 구간의 서비스수준을 판별한다. 연결로-연결로 엇갈림 구간의 경우, 고속국도 기본 구간의 운영 분석 방법과 같이 엇갈림 구간의 속도를 직접 조사 또는 식을 이용, 계산하여 밀도를 산출하고 서비스수준을 판정한다.

① 본선-연결로 엇갈림 구간의 운영 상태 분석

본선-연결로 엇갈림 구간의 운영 상태를 분석하는 과정은 그림 4.10과 같다.



〈그림 4.10〉 본선-연결로 엇갈림 구간 운영 분석 과정

㉠ 1단계 : 도로 및 교통 조건 조사

분석 대상 엇갈림 구간의 도로 및 교통 조건을 조사한다. 도로 조건에는 접근 방향별 차로수, 차로 폭 및 엇갈림 형태가 있으며, 교통 조건에는 방향별 15분 교통량, 중차량 구성비 등이 있다.

㉢ 2단계 : 교통량을 첨두시간 승용차 교통량으로 환산

첨두시간계수와 중차량 구성비는 현장에서 조사하고, 승용차환산계수는 고속국도 기본구간에서 제시한 값을 사용하여 방향별 1시간 교통량을 첨두시간 승용차 교통량으로 환산한다.

$$V_p = \frac{V}{PHF \times f_{HV}}$$

여기서, V_p : 첨두시간 환산 교통량(pcphpl)

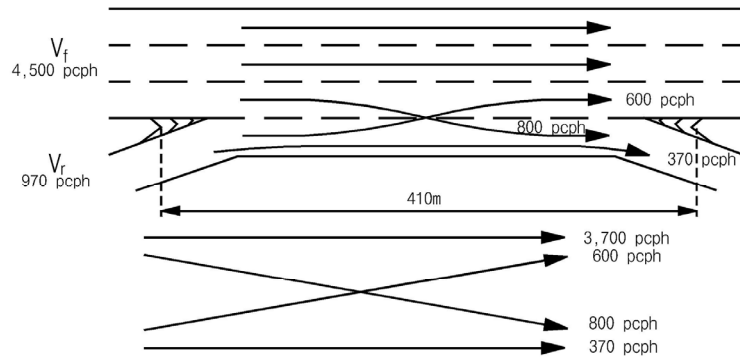
V : 1시간 교통량(vph)

PHF : 첨두시간계수

f_{HV} : 중차량보정계수

㉤ 3단계 : 방향별 교통량의 도식화

엇갈림 교통량과 비엇갈림 교통량을 도식화한다. 모든 교통량은 첨두시간의 승용차 단위로 나타낸다. 엇갈림 교통량 관련 변수(V_R , V/N , V_w)들의 한계를 점검한다.



$$\begin{aligned}
 V_{w1} &= 800\text{pcph}(\text{가장 많은 엇갈림 교통량}) \\
 V_{w2} &= 600\text{pcph}(\text{가장 적은 엇갈림 교통량}) \\
 V_w &= 600+800=1,400\text{pcph}(\text{총 엇갈림 교통량}) \leq 2,800\text{pcph} \\
 V_{nw} &= 3,700+370=4,070\text{pcph}(\text{총 비엇갈림 교통량}) \\
 V &= 600+800+3,700+370=5,470\text{pcph}(\text{엇갈림 구간의 총 교통량}) \\
 V/N &= 5,470/4=1,368\text{pcph} \leq 2,000\text{pcph} \\
 V_R &= 1,400/5,470=0.26(\text{교통량 비}) \leq 0.45 \\
 L &= 410\text{m}(\text{엇갈림 구간의 길이}) \\
 N &= 4(\text{엇갈림 구간의 총 차로수})
 \end{aligned}$$

〈그림 4.11〉 방향별 교통량의 도식화

㉠ 4단계 : 교통류별 평균 속도(S_{nw} , S_w) 계산 및 밀도 산출

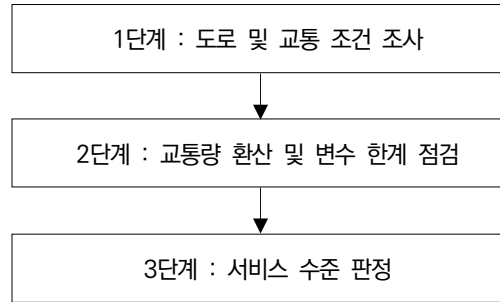
엇갈림 구간의 모든 차량에 대한 공간 평균 속도는 관련 식으로 계산하거나 현장에서 조사한다. 현장 조사 시에는 침두시에 승용차 최소 30대 이상에 대하여 엇갈림 구간의 시·종점(물리적인 노즈 양단)에서 차량의 통과 시각을 계측하여 통행 시간을 산출하고, 엇갈림 길이를 이 통행시간으로 나눈 값의 평균을 평균통행속도로 한다. 계산된 속도를 토대로 관련 식 따라 밀도를 산출한다.

㉡ 5단계 : 산출된 밀도로 서비스수준 판정

산출된 밀도와 표 4.10의 서비스수준별 기준 값을 비교하여 해당 엇갈림 구간의 서비스수준을 판정한다.

㉢ 연결로-연결로 엇갈림 구간의 운행 상태 분석

연결로-연결로 엇갈림 구간의 운행 상태 분석은 고속국도 기본구간의 운영 분석 과정과 동일하게 그림 4.12와 같이 한다.



〈그림 4.12〉 연결로-연결로 엇갈림 운영분석 과정

㉠ 1단계 : 도로 및 교통 조건 조사

분석 대상 엇갈림 구간의 도로 및 교통 조건을 조사한다. 도로 조건에는 차로 폭 및 엇갈림 구간 길이가 있으며, 교통 조건에는 방향별 15분 교통량, 속도 그리고 중차량 구성비 등이 있다.

㉡ 2단계 : 교통량의 침두시간 승용차 교통량 환산 및 변수 한계 점검

침두시간계수와 중차량 구성비는 현장에서 조사하고 승용차 환산계수는 고속국도 기본구간에서 제시한 값을 사용하여 방향별 1시간 교통량을 침두시간 승용차 교통량으로 환산한다. 엇갈림 교통량 관련 변수(V_w)의 한계를 점검한다($V_w \leq 3,000$)

㉢ 3단계 : 서비스수준 판정

침두시간 승용차 환산 교통량과 속도를 토대로 다음과 같은 공식에 의해 밀도를 산출한다. 계산된 밀도는 각 서비스수준의 경계 값으로 제시된 밀도와 비교하여 운영 상태를 판정한다.

$$D = \frac{V_P}{S \times N}$$

여기서, D : 밀도(pcpkmp1)

V_P : 15분 침두시간 승용차 환산 교통량(pcp1)

S : 엇갈림 구간의 모든 차량에 대한 공간 평균 속도(kph)

N : 엇갈림 구간의 전체 차로수(2차로)

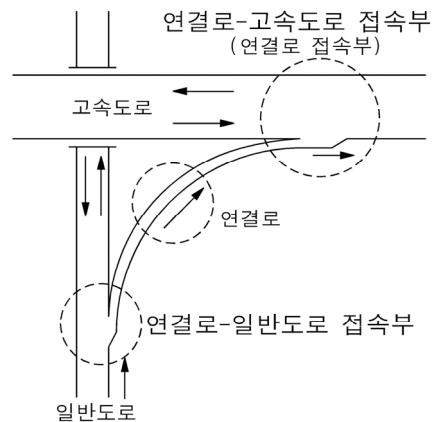
4.5.5 고속국도 연결로 접속부

(1) 기본 사항

연결로란 두 도로 사이의 연결을 주 목적으로 하는 도로 또는 도로구간을 말한다. 일반적으로 연결로는 연결로-고속국도 접속부, 연결로 자체, 연결로-일반도로 접속부의 세 가지 기하 요소로 이루어진다. 여기에서는 연결로와 연결로-고속국도 접속부(이하 연결로 접속부)에 대한 분석 절차를 설명하고 있으며, 주로 후자의 분석에 초점을 두고 있다. 또한 연결로-고속국도 접속부를 위한 분석 체계는 고속국도 이외의 시설, 즉 고속국도에 준하는 도로나 다차로도로 또는 2차로도로와의 접속부를 분석할 때에도 개략적으로 적용할 수 있다.

(가) 구 성

연결로 접속부는 다음과 같은 세 가지 요소로 이루어진다.



〈그림 4.13〉 연결로 접속부 구성 요소

(나) 연결로 접속부의 용량

(a) 연결로 접속부 용량

연결로 접속부와 연결로의 용량은 고속국도 본선의 자유속도와 연결로의 자유속도에 따라 변한다.

연결로 접속부의 용량은 분류부의 상류 지점과 합류부의 하류 지점의 최대 통과 교통량과 관계가 있다. 이 개념은 고속국도 기본구간의 분석 개념과 크게 다르지 않다.

즉, 합류부나 분류부의 용량은 결국 연결로 접속부의 분류 직전 또는 합류 직후 구간의 용량에 지배를 받는다는 가정 하에서 이 구간의 용량을 산정할 수 있으며, 서비스 수준도 이와 같은 관점에서 판단한다.

분류부 및 합류부 본선 교통량은 합류부에서는 합류 직후, 분류부에서는 분류 직전의 용량을 의미한다. 영향권 용량은 유입부 교통량이 합류부 영향권의 용량을, 유출부 교통량이 분류부 영향권의 용량을 나타낸다.

〈표 4.11〉 연결로의 설계속도별 최대 서비스 교통량

본선 자유속도 (kph)	분류부 및 합류부 본선 교통량(pcph)(a)			영향권 용량	
	2차로	3차로	4차로 이상	유출부 교통량 (pcph)(b ₁)	유입부 교통량 (pcph)(b ₂)
≤ 120	≤ 4,600	≤ 6,900	≤ 2,300/차로	4,400	4,600
≤ 110	≤ 4,500	≤ 6,750	≤ 2,250/차로	4,400	4,600
≤ 100	≤ 4,400	≤ 6,600	≤ 2,200/차로	4,400	4,600
≤ 90	≤ 4,200	≤ 6,300	≤ 2,100/차로	4,400	4,600

(b) 연결로의 용량

연결로의 용량은 연결로의 곡선반지름, 경사 또는 본선과의 경사 차이, 길어깨폭, 연결로의 형태 및 이들의 종합 개념인 연결로의 설계속도 등에 영향을 받는다. 연결로 자체의 차로수를 결정해야 할 때 표 4.12의 연결로 용량을 사용할 수 있다.

〈표 4.12〉 연결로의 용량

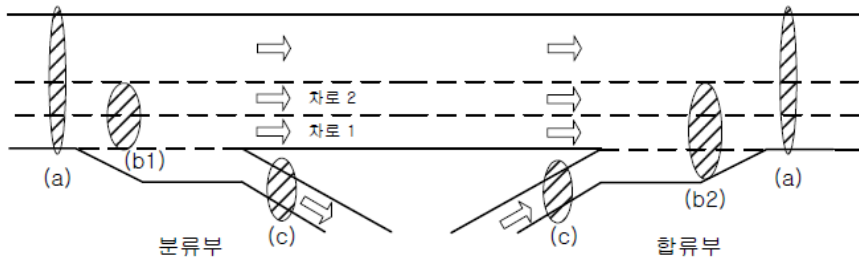
연결로 자유속도 (kph)	연결로의 용량(pcph)	
	1차로 연결로	2차로 연결로
> 70	≤ 2,000	≤ 4,000
≤ 70	≤ 1,900	≤ 3,800
≤ 60	≤ 1,800	≤ 3,600
≤ 50	≤ 1,700	≤ 3,400
< 40	≤ 1,600	≤ 3,200

(c) 용량 확인

연결로 접속부의 용량은 크게 연결로의 용량과 본선의 용량으로 나눌 수 있다. 분석

의 초점을 주로 본선에 두고 있기 때문에 여기에서는 본선의 용량과 서비스수준 분석에 초점을 둔다. 제시된 용량 값은 연결로 접속부의 서비스수준 분석 절차 진행 여부를 판단하기 위해 사용된다.

연결로 접속부에서는 본선의 용량(a), 분류부(b1) 및 합류부(b2)의 영향권 용량, 연결로의 용량(c) 등 세 가지 용량 값이 존재한다(그림 4.14 참조).



〈그림 4.14〉 연결로 접속부 용량

검토 지점에 대해 위 표 4.11, 표 4.12에서 제시하고 있는 용량 값을 모두 초과하지 않을 때 분석 절차를 진행한다.

합류부에서는 본선 하류 교통량($V_{F0} = V_F + V_R$)과 유입부 교통량(V_{R12}), 연결로 교통량(V_R)을 비교하며, 분류부에서는 본선 상류 교통량($V_F = V_{F1}$)과 유출부 교통량(V_{12}), 본선 하류 교통량($V_{F0} = V_F - V_R$)과 유출 연결로 교통량(V_R)을 비교한다. 이때 각 교통량이 하나라도 용량을 초과할 시에는 분석을 중단하고 서비스수준을 F로 처리하며, 그렇지 않을 때는 분석을 진행한다.

(다) 연결로 접속부의 효과척도 및 서비스수준

연결로 접속부의 서비스수준을 평가하기 위한 효과척도는 영향권의 밀도로 한다. 연결로 접속부의 영향권 밀도는 보조차로를 포함하여 접속차로로부터 두 개 차로의 평균 밀도로 한다.

운행특성상 연결로 접속부는 고속국도 기본구간보다 서비스수준이 떨어진다. 이를 감안하여 연결로 접속부에서는 서비스수준 E를 22pcpkmpl로 기준하여 구분한다. 기본구간과 동일한 교통량을 갖는다 하더라도 연결로 접속부에서는 속도가 상대적으로 낮기 때문에 표 4.13과 같이 설정하였다. 서비스수준 F의 밀도 값이 없는 이유는 분석 절차 상, 첨두시간 환산 교통량의 용량확인 절차에서 용량을 초과하게 되면 서비스수준을 F로 처리하고 밀도 예측 단계까지 진행되지 않기 때문이다.

〈표 4.13〉 연결로 접속부의 서비스수준

서비스수준	밀 도(pcpkmp)
A	≤ 6
B	≤ 12
C	≤ 17
D	≤ 22
E	> 22
F	용량 초과

(라) 영향권 교통량 계산

영향권의 교통량을 산출하기 위하여 본선 전체에 대한 차로 1, 2의 교통량 비율(영향권 비)을 산출해야 한다. 이를 위하여 표 4.14와 표 4.15의 계산식을 이용한다.

〈표 4.14〉 합류부 영향권 비 계산(P_{FM})

구 분		$V_{12} = V_F \times P_{FM}$
본선 편도 2차로		$P_{FM} = 1.00$
본선 편도 3차로	독립 합류부	$P_{FM} = 0.5127 + 0.000193 \times V_R$
	연속 분류-합류 중 합류부	$P_{FM} = 0.635 - 0.000022 \times (V_R + V_F) - 0.00504 \times (V_u/L_u)$
본선 편도 4차로		$P_{FM} = 0.094 - 0.0000203 \times V_R + 0.0502(L_A/S_{FR})$

〈표 4.15〉 분류부 영향권 비 계산(P_{FD})

구 분		$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) \times P_{FD}$
본선 편도 2차로		$P_{FD} = 1.00$
본선 편도 3차로	독립 분류부	$P_{FD} = 0.609 - 0.0000004 \times V_F - 0.00015 \times V_R$
	연속 분류-합류 중 분류부	$P_{FD} = 0.7960 - 0.0000758 \times V_F + 0.0259 \times (V_d/L_d)$
본선 편도 4차로		$P_{FD} = 0.453$

주) 여기서, V_{12} : 접속차로로부터 두 번째 차로까지의 교통량(pcp)
 V_F : 합류부 및 분류부 상류의 본선 교통량(pcp)
 P_{FM} , P_{FD} : 합류부, 분류부의 영향권 비
 V_R : 분석 대상 연결로의 교통량(pcp)
 L_A , L_D : 가속차로, 감속차로의 길이(m)
 V_u , V_d : 인접 상류부, 하류부 연결로의 교통량(pcp)
 L_u , L_d : 인접 상류부, 하류부 연결로까지의 거리(m)
 S_{FR} : 분석 대상 연결로의 자유속도(kph)

(5) 밀도 산출 및 서비스수준 판정

합류부 및 분류부의 영향권 비가 결정되면 V_{12} 를 계산할 수 있게 되며 다음 식을 이용하여 연결로 접속부 영향권의 밀도를 추정한다. 산출된 밀도는 분석 방법의 표 4.13을 이용하여 서비스수준을 분석한다.

$$\text{합류부} : D_{MR} = 0.2048 + 0.003185 \times V_R + 0.005989 \times V_{12} - 0.00101 \times L_A$$

$$\text{분류부} : D_{DR} = 0.5108 + 0.00589 \times V_{12} - 0.0043 \times L_D$$

여기서, D_{MR} : 합류 영향권의 평균 밀도(pcpkmpl)

D_{DR} : 분류 영향권의 평균 밀도(pcpkmpl)

4.5.6 고속국도 종합 분석

고속국도 전체 차원에서 고속국도의 구성 요소들을 분석하기 위해서는 우선 각 구성 요소인 구간들을 분할하여 분석하고, 다시 종합해야 한다.

고속국도는 상·하류 부분 구간의 운행에 잠재적인 영향을 주는 여러 요소들로 구성된 복합적인 시설이다. 따라서, 고속국도를 분석할 때에는 고속국도 전체 차원에서 이들 분석 과정을 종합할 필요가 있다.

(1) 구간 분할

(가) 연결로 접속부나 엇갈림 구간의 영향권을 벗어난 각 구간은 독립된 고속국도 기본구간으로 간주한다.

(나) 이 고속국도 기본구간 내에서 종단 경사가 3% 이상이고, 경사 길이가 500 m 이상인 단일경사 구간 또는 2% 이상 3% 미만이면서 경사 길이가 1,000 m 이상인 구간을 특정 경사구간으로 구분하여 분석해야 한다. 지형이 급격히 변하는 경우, 즉 평지부에서 구릉지나 산지로 변하는 경우는 하나의 구간을 분리시킨 소구간으로 나누어야 한다. 급한 경사구간이 포함되지 않은 긴 기본구간은 평지, 구릉지 및 산지의 확장 부분으로 생각하면 된다. 하향경사 구간은 특별히 처리할 만한 지형 자료가 없다면 일반적으로 평지로 생각하면 된다. 경사 길이가 500 m 이상인 구간 단일경사 구간 또는 2% 이상 3% 미만이면서 경사 길이가 1,000 m 이상인 구간

- (다) 엇갈림 구간과 연결로 접속부는 그림 4.14의 영향권을 고려하여 분할하면 된다.
- (라) 일차적으로 각각의 연결로 접속부는 분리하여 생각하지만, 영향권을 고려하여 인접 하류 부나 상류부의 연결로와 함께 분석해야 한다.
- (마) 명확하게 엇갈림 구간으로 구분할 수 있는 연결로(본선-연결로 엇갈림 구간)는 엇갈림 구간의 분석 절차에 따라 분석한다. 엇갈림 형태 중에서 복잡한 교통류 간 엇갈림을 발생시키는 형태로 설계하는 것은 가급적 피해야 한다.

(2) 분 석

분할된 구간은 다음 순서에 따라 분석한다.

- (가) 설계서비스수준, 수요 교통량과 교통 특성, 평면선형 및 종단선형 그리고 개략적인 연결로의 형태와 배열을 결정한다.
- (나) ‘4.5.3 고속국도 기본구간의 용량 분석’의 상세한 분석과정을 이용하여, 분할된 각 고속국도 기본구간의 차로수를 결정하며, 각 연결로의 유출입 교통량에 따른 차로수는 ‘4.5.5 고속국도 연결로 접속부’의 설명에 따라 결정한다.
- (다) 연결로 접속부의 분석은 독립된 연결로로 분석할 것인가, 인접한 하류의 연결로와 연계하여 분석할 것인가 또는 인접한 상류의 연결로와 연계하여 분석할 것인가를 결정한 후 ‘4.5.5 고속국도 연결로 접속부’의 분석 방법을 이용하여 각 연결로 접속부를 분석한다. 이들 중 한 가지 또는 두 가지는 고려할 필요가 없겠지만, 한 가지 이상의 유효한 분석이 최적 대안 설정을 위하여 필요한 경우도 있다. 연결로 접속부의 위치나 구간별 차로수에 따라 엇갈림이 발생할 수 있으므로, 이러한 경우는 (라)의 분석에 따른다.
- (라) 엇갈림 구간은 ‘4.5.4 엇갈림 구간’의 분석 과정에 따라 분석한다. 설계를 할 때 유입 연결로 다음에 유출 연결로가 계속되는 경우는 보조 차로가 설치된 엇갈림 가능 구간과 보조 차로가 없는 연결로의 조합, 이 두 가지 측면을 모두 검토해야 한다.
- (마) 만약 (다)항과 (라)항의 결과가 불합리하다면 다음과 같은 대안을 고려한다.
 - ① 차로수 또는 연결로의 위치 변경(교통수요 분포에 영향을 줌)
 - ② 새로운 형태를 설계해 보기 위하여 (나)항에서 결정된 고속국도 본선 구간과 연결로의 설계를 변경
 - ③ 형태 변경, 엇갈림 감소 등을 위하여 주요 출입시설 설계를 변경

(바) 분석 결과의 종합

각 구성 요소를 독립적인 시설물로 간주하여 분석한 결과는 고속국도 전체 측면에서 다시 종합하여 검토할 필요가 있다. 일부 구간의 서비스수준이 좋게 판정되더라도 상·하류의 다른 구간 서비스수준이 이보다 나쁘다면, 결국 일부 구간을 포함한 상하류 구간의 서비스수준은 가장 나쁜 서비스수준을 보이는 구간의 수준으로 결정되기 때문이다. 또, 서비스수준을 평가하기 위한 효과척도가 각 구성 요소별로 다르므로 도로 계획 시 구간별 평가 결과를 절대적으로 비교하기는 어렵다.

고속국도 구성 요소의 분석 결과 각 구간의 서비스수준이 결정되었을 때, 어떤 수준을 해당 설계 구간의 서비스수준으로 해야 하는지를 결정해야 한다. 도로용량 측면에서 볼 때 분석 대상 구간의 최대 교통량은 가장 나쁜 서비스수준을 보이는 구간의 도로용량에 좌우됨을 감안하면, 그 중 가장 낮은 서비스수준 분석 결과가 분석 구간 전체의 서비스수준을 좌우하므로, 개선의 초점을 이 구간에 두고 분석해야 한다. 물론 재정상의 제약은 이러한 결정을 어렵게 만들 수도 있으나, 잘못된 설계로 인하여 향후 반복적인 정체 요인이 될 수 있음을 감안하여 보다 정확한 분석을 바탕으로 최적 대안을 선정해야 한다.