

고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태에 관한 연구

Study on driver's visual behavior on expressway tunnel section

김호영 금기정 김명수 김주현
명지대학교 대학원 명지대학교 SOC공학부 대전산업대학교 안양대학교
(교통전공) 석사과정 (교통전공) 부교수 도시공학과 부교수 도시공학과 조교수

목 차

- I. 서론
- II. 관련문헌 검토
- III. 조사방법
- IV. 주행속도 및 시지각활동에 대한 분석
- V. 결론
- 참고문헌

I. 서론

고속도로 전체구간의 소통장애와 안전을 저해하는 요소 중의 하나로 터널구간을 들 수 있다. 기존연구에 따르면 터널구간의 용량을 도로용량편람의 고속도로 기본구간의 용량과 비교하여 보면 양방 2차로의 경우는 약 6%, 양방 4차로의 경우는 약 10%의 용량 감소를 보이고 있으며, 터널의 유·출입에 따른 교통량의 감소를 분석한 결과 1개의 터널을 통과하는 경우의 터널보정계수는 0.95, 연속되는 터널을 통과하는 경우의 터널보정계수는 0.90으로 보고되어 있다. 한편 터널구간 주행시 피험자들은 터널 진입전 100m지점부터 지속적인 속도저하를 보이다가 터널 진입 후 약 40m지점에서 최저속도를 그리고 100m가 지난 지점부터 서서히 가속을 보였다는 시험결과가 있다.

이러한 터널구간에서의 교통류특성의 변화요인은 종단구배, 터널부 전방의 곡선반경, 터널 길이, 터널내부의 차선폭 및 측방여유폭 등의 기하구조적 측면과 운전자행태의 변화 즉 시지각 활동의 변화를 들 수 있다.

이러한 시지각 활동의 변화는 운전자가 운전 중 받아들이는 정보의 90% 이상이 시각정보일 정도로 매우 중요한 요소이나 기존연구에서는 기하구조적 측면으로만 터널구간에서의 교통특성의 변화를 분석하였고 시지각 활동에 대한 객관적인 측정이 곤란하여 이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 중부고속도로상의 중부 4

터널을 대상으로 하여 시지각활동을 측정할 수 있는 TALK EYE 를 이용하여 고속도로상 터널구간의 교통류특성 변화는 기하구조적 측면만이 아니라 Human factor의 영향 즉 운전자 시각행태 측면도 영향을 미친다는 것을 밝히며, 이러한 운전자 시각행태를 정량화하여 분석하는데 그 목적을 두었다.

II. 관련문헌 검토

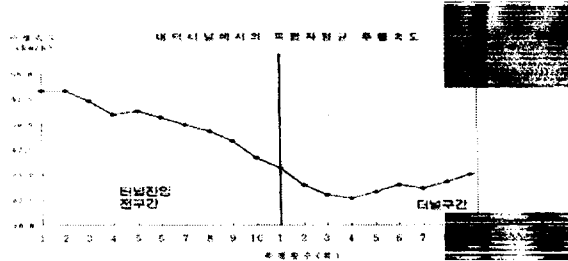
1 터널구간에서의 교통량변화¹⁾

중부고속도로 하행선의 경우 중부 2터널 유입전과 유출후, 중부 2터널 유출후와 중부 3터널 유출후, 그리고 중부 2터널 유입전과 중부 3터널 유출후 교통량의 조합을 통해 중부 2터널과 중부 3터널의 하행선에 대한 교통량 보정계수를 산정하였다 상행선의 경우는 중부 3터널 유입전과 유출후, 중부 3터널 유출후와 중부 2터널 유출후, 그리고 중부 3터널 유입전과 중부 2터널 유출후 교통량에 대해 분석하여 중부 3터널과 중부 2터널의 상행선에 대해 보정계수를 산정하였다.

각각의 조합에 대해 회귀분석을 하여 터널보정계수를 산정한 결과 하나의 터널을 통과할 때의 보정계수는 0.93 ~ 0.96, 연속되는 터널을 통과하는 경우의 보정계수는 0.88 ~ 0.90 으로 산정되었다.

2. 터널구간에서의 속도변화³⁾

대덕터널에서의 피험자 3명의 평균속도는 <그림 1>과 같다.<그림 1>에서 알 수 있듯이 터널 진입전 구간부터 지속적인 속도 저하추세를 보이다가 터널 진입후 약 100m 지난 후부터 속도 곡선이 서서히 상승하고 있는 특성을 보이고 있다.(그림 1 참조)



<그림 1> 대덕터널에서의 주행속도 변화

3. 터널구간의 교통류특성 변화요인⁸⁾

1) 터널구간의 기하구조 측면

(1) 종단구배

터널구간은 종단구배와 같이 존재하고 있으며 대형차의 성능에 따라 매우 큰 영향을 받게 된다.

(2) 터널 전방의 곡선반경

터널 전방 곡선반경은 운전자에게 운전조작 및 시거에 제약을 가함으로써 속도감소를 일으킨다.

(3) 터널길이

터널길이가 길수록 터널내부의 폐쇄공간에 따른 속도저하 구간이 길어지며, 운전자의 심리적 긴장시간은 그에 비례하게 된다.

(4) 터널내부의 전체차선폭

우리나라 거의 모든 터널내부에는 길어깨가 설치되어 있지 않다. 이로 인한 속도감소현상에 대해 일본의 사례에 의하면 터널직전 400m지점의 속도를 100%으로 할 때 터널입구 부분에서의 속도저하 비율은 길어깨폭 4.25m에서 약 5%, 1.25m에서 10%로 나타난 결과로 보아 터널내부의 길어깨폭의 중요성을 시사하고 있다.

(5) 터널내의 조도

터널내부의 조도는 운전자의 주행에 직접적인 영향을 주기 때문에 적절한 조도의 확보는 필연적이다.

2) 운전자의 심리적측면

터널부에서 운전자는 안전상의 문제로 인하여 브레이크 조작빈도가 상대적으로 높고 폐쇄공간에 따른 주행의 제약으로 감속운행하고 있다.

현재까지는 터널부에 대한 교통해결방식이 주행시 안전상의 문제를 우선적으로 고려하여 운

전자에게 안전운행을 권장등의 소극적 접근방식이었으나 이제는 고속도로 교통량이 포화상태를 보이는 시간대 및 도로구간이 수도권 및 대도시 주변을 비롯하여 급격히 확산됨에 따라 지체해소를 위해 운전자의 심리적 측면도 소홀히 할 수 없는 상황이 되었다.

특히 터널입구 전방에서는 입구가 블랙홀처럼 보여 진입시 긴장감이 고조되며 입구의 어두움에 대한 적응이 늦어짐으로, 운전자는 주행에 필요한 지각능력이 순간적으로 떨어지게 되며 측면벽과 천장의 존재로 인한 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안정한 상태가 된다.

III. 조사방법

1. 조사지점 현황

중부4터널은 종단구배 1.47%이며 오르막 시점에서 1.4km떨어진 곳에 터널이 위치하고 있으며 오르막구배에 따른 속도저하요인은 미미할 것으로 판단된다. 그러나 터널입구에 커브가 있어 운전자가 터널유무를 확인하기가 어려운 기하구조 여건을 지니고 있다.

< 표 1> 중부 4터널의 기하구조

| | |
|----------------------|---------|
| 종단구배 | 1.47 % |
| 터널입구 곡선반경 | 4,830 m |
| 터널 외부의 길어깨폭 | 3.2 m |
| 터널길이 | 490 m |
| 구배 시작지점에서 터널입구까지의 거리 | 1,300 m |

2. 조사지점 구분 및 조사항목

터널구간에서의 주행속도, 시지각활동의 변화를 중부고속도로상의 중부4터널을 대상으로 실험한다. 실험구간은 중부 4터널 내부구간과 터널진입전 1,000m, 터널진출후 510m구간을 대상으로 하였다. 터널진입전 1,000m와 터널진출 후 510m 구간을 실험대상에 포함시킨 이유는 이 구간을 준거구간으로 삼아 터널미확인구간, 터널확인구간, 터널내부구간, 터널진출후구간의 속도변화와 시지각활동 변화를 알아보기 위함이다. 특히 터널진입전 1,000m를 실험구간으로 삼은 것은 터널진입전 500m 지점 이전에는 터널의 유무를 확인 할 수 없으므로 터널미확인구간, 500m 지점 이후에는 터널확인구간 그리고 터널내부구간, 터널진출후구간의 속도, 조도, 시지각활동의 변화를 조사하고자 함이다.

3. 조사방법

1) 주행속도의 조사방법

터널구간에서의 주행속도조사는 터널미확인구간, 터널확인구간, 터널내부구간, 터널진출후구간을 포함한 총실험구간 2,000m를 100m 간격으로 나누어 주행속도변화를 측정한다. 100m 간격은 실험차량의 거리적산계(타코메터)를 이용하고 주행속도의 측정은 실험차량의 속도계에 표시되는 속도로 그 변화를 측정한다. 이러한 100m 간격의 주행속도의 조사는 실험차량의 운전자 이외의 조사원을 조수석에 동승시켜 조사하게 한다.

2) 시지각활동의 조사방법

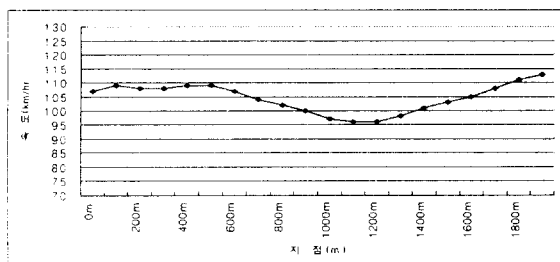
시지각활동 조사는 터널미확인구간, 터널확인구간, 터널내부구간, 터널진출후구간을 포함한 총실험구간 2,000m를 100m 간격으로 나누어 시지각활동의 변화를 조사한다. 시지각활동의 조사는 Talk Eye(안구운동 측정장치)를 이용하여 시지각 분야의 연구에 사용되는 안구운동측정 기법(Eye Movement Technique)으로 조사한다. Talk Eye(안구운동 측정장치)는 눈운동과 전방의 시야를 촬영하는 카메라 시스템 및 비디오 기록장치, 컴퓨터 장치등의 조합으로 이루어져 있다.

이 Talk Eye(안구운동 측정장치)를 실험차량에 탑재하여 이 장치의 고글(안경형태)을 피실험자(운전자)의 눈에 장착한 후 실험구간을 실험주행하여 시지각활동의 변화를 조사한다.

IV. 주행속도 및 시지각활동에 대한 분석

1. 터널구간에서의 주행속도변화

피실험자 1, 2, 3의 평균 주행속도는 터널미확인구간에서는 주행속도가 일정하다가 터널을 육안으로 확인할 수 있는 터널확인구간인 500m 지점에서부터 주행속도가 감속추세를 보이며, 터널진입후 100m를 주행한 1,100m 지점에서 주행속도가 최저가 되고 1,200m 지점을 지나면서 주행속도가 상승하여 터널진출후구간인 1,600m 지점에서부터 터널 미확인구간의 주행속도로 회복된다. (그림 2 참조)



<그림 2> 주행속도의 변화

2. 터널구간에서의 시지각활동 변화

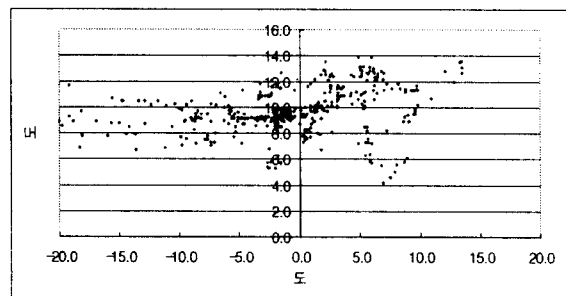
1) 피실험자 1

(1)터널 미확인구간

<그림 3>은 피실험자 1이 터널미확인구간을 주행할 때 나타나는 시지각변화 보여주고 있으며, 좌우로 넓게 시지각이 변화하는 것을 볼 수 있다.

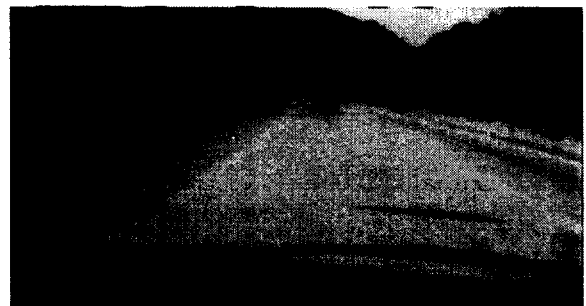


<그림 3> 터널미확인구간에서의 시지각변화 피실험자 1의 터널미확인구간에서의 좌우 주시영역은 좌측 극단값 -20도, 우측 극단값 13.5도로 좌우 주시영역폭은 33.5도이며, 상하 주시영역은 상측 극단값 13.9도, 하측 극단값 4.2도로 상하 주시영역폭은 9.7도 이다.(그림 4 참조)



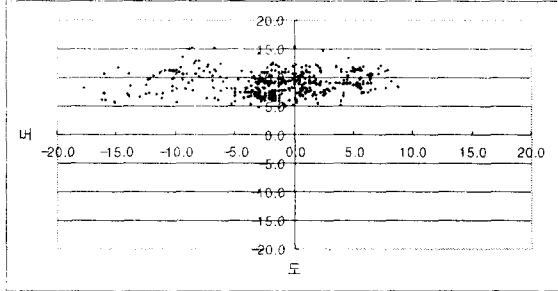
<그림 4> 터널미확인구간에서의 주시점 분포 (2) 터널 확인구간

<그림 5>는 피실험자 1이 터널확인구간을 주행할 때 나타나는 시지각변화를 보여주고 있으며 터널미확인구간에 비하여 좌우로 좁게 시지각이 변화하는 것을 볼 수 있다.



<그림 5> 터널확인구간에서의 시지각변화

피실험자 1이 터널확인구간에서의 좌우 주시영역은 좌측 극단값 -17.7도, 우측 극단값 8.7도로 좌우 주시영역폭은 26.4도이며, 상하 주시영역은 위로 15.3도, 아래로 4.8도로 상하 주시영역폭은 10.5도 이다.(그림 6 참조)



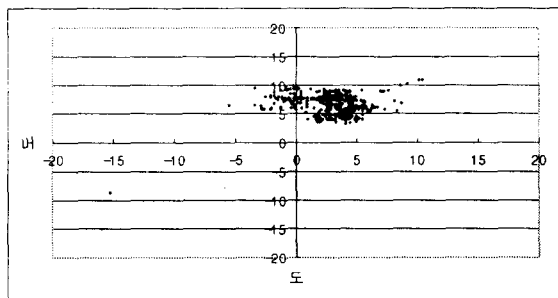
<그림 6> 터널확인구간에서의 주시점 분포

(3) 터널 내부구간

<그림 7>은 피실험자 1이 터널내부구간을 주행할 때 나타나는 시지각의 변화 보여주고 있으며 터널미확인구간, 터널확인구간에 비하여 좌우, 상하로 좁게 시지각이 변화하고 있음을 볼 수 있으며, 또한 가운데로 집중하여 주시하고 있음을 볼 수 있다.



<그림 7> 터널내부구간에서의 시지각변화



<그림 8> 터널내부구간에서의 주시점 분포
피실험자 1의 터널내부구간에서의 좌우 주시영역은 좌측 극단값 -5.5도, 우측 극단값 10.4도로 좌우 주시영역폭은 15.9도이며, 상하 주시영역은 상측 극단값 10.9도, 하측 극단값 3.3도로 상하 주시영역폭은 7.6도 이다.(그림 8 참조)

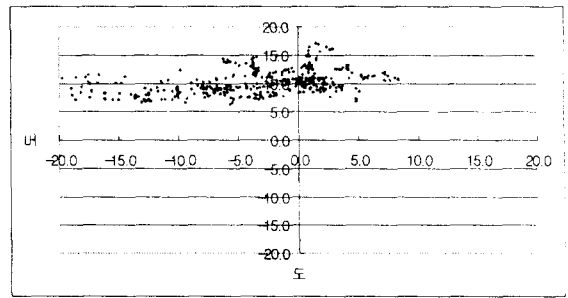
(4) 터널 진출후구간

<그림 9>는 피실험자 1이 터널진출후구간을 주행할 때 나타나는 시지각의 변화 보여주고 있으며 터널미확인구간과 유사하게 시지각이 변화하고 있음을 볼 수 있다.



<그림 9> 터널진출후구간에서의 시지각변화

피실험자 1의 터널진출후구간에서의 좌우 주시영역은 좌측 극단값 -19.7도, 우측 극단값 8.4도로 좌우 주시영역폭은 28.1도이며, 상하 주시영역은 상측 극단값 17도, 하측 극단값 6.4도로 상하 주시영역폭은 10.6도 이다.(그림 10 참조)



<그림 10> 터널 진출후구간에서의 주시점 분포

(2) 피실험자 1의 주시영역

좌우 주시영역폭으로 볼 때 터널미확인구간에서 좌우로 가장 넓게 주시하고, 터널확인구간에서 감소하여 터널내부구간에서 가장 좁게 주시한다. 상하 주시영역폭은 터널확인구간에서 상하로 가장 넓게 주시하고 터널내부구간에서 가장 좁게 주시한다.(표 2 참조)

<표 2> 피실험자1의 주시영역폭

| | 좌우주시영역(도) | 상하주시영역(도) |
|---------|-----------|-----------|
| 터널미확인구간 | 33.5 | 9.7 |
| 터널확인구간 | 26.4 | 10.5 |
| 터널내부구간 | 15.9 | 7.6 |
| 터널진출후구간 | 28.1 | 10.6 |

(2) 피실험자 2의 주시영역

좌우 주시영역폭으로 볼 때 터널미확인구간에

서 좌우로 가장 넓게 주시하고, 터널확인구간에서 감소하여 터널내부구간에서 가장 좁게 주시한다. 상하 주시영역폭으로 볼 때 터널미확인구간에서 상하로 넓게 주시하고, 터널확인구간에서 감소하여 터널내부구간에서 가장 좁게 주시하고 터널진출후구간에서 가장 넓게 주시한다. (표 3 참조)

<표 3> 피실험자2의 주시영역폭

| | 좌우주시영역(도) | 상하주시영역(도) |
|---------|-----------|-----------|
| 터널미확인구간 | 39.2 | 13.8 |
| 터널확인구간 | 20.3 | 9.4 |
| 터널내부구간 | 19.8 | 7.7 |
| 터널진출후구간 | 36.1 | 14.1 |

(3) 피실험자 3의 주시영역

좌우 주시영역폭으로 볼 때 터널미확인구간에서 좌우로 넓게 주시하고, 터널확인구간에서 감소하여 터널내부구간에서 가장 좁게 주시하고 터널진출후구간에서 가장 넓게 주시한다. 상하 주시영역폭으로 볼 때 터널미확인구간에서 상하로 넓게 주시하고, 터널확인구간에서 감소하여 터널내부구간에서 가장 좁게 주시하고 터널진출후구간에서 가장 넓게 주시한다.(표 4 참조)

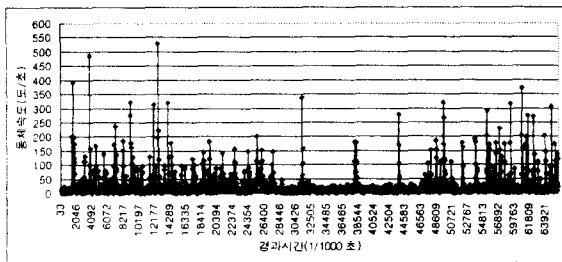
<표 4> 피실험자3의 주시영역폭

| | 좌우주시영역(도) | 상하주시영역(도) |
|---------|-----------|-----------|
| 터널미확인구간 | 24.8 | 15 |
| 터널확인구간 | 17.3 | 11 |
| 터널내부구간 | 12.8 | 10 |
| 터널진출후구간 | 30.1 | 22 |

3. 터널구간에서의 동체속도 변화

1) 피실험자 1의 동체속도 변화

피실험자 1의 동체속도는 터널미확인구간에서 높다가 터널을 발견하면 낮아졌다가 터널내부구간에서 급격히 낮아지며 터널진출후구간에서는 터널미확인구간의 속도로 회복된다.

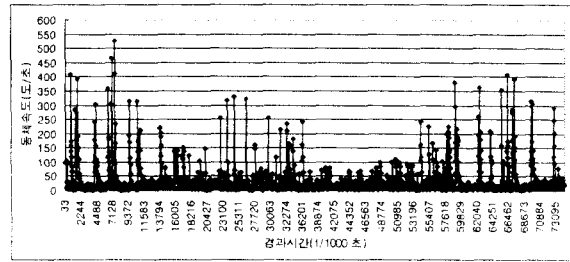


<그림 11> 동체속도 변화(피실험자 1)

2) 피실험자 2의 동체속도 변화

피실험자 2의 동체속도 변화는 터널미확인구간에서는 동체속도가 일정하게 높다가 터널을

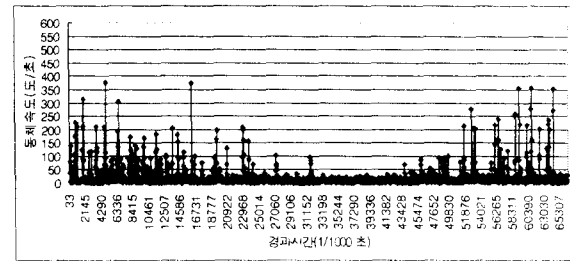
확인하고 낮아졌다가 다시 높아지며, 터널내부에서는 급격히 낮아지고 다시 터널진출후 구간에서는 높아진다.



<그림 12> 동체속도의 변화(피실험자 2)

3) 피실험자 3의 동체속도 변화

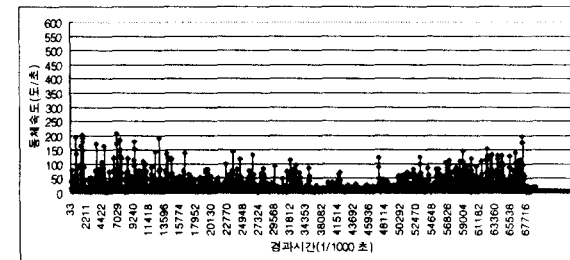
피실험자 3의 동체속도는 터널미확인구간과 터널확인구간은 유사하나 터널내부구간에서 급격히 감소하고 터널진출후구간에서 다시 그 속도를 회복한다.



<그림 13> 동체속도의 변화(피실험자 3)

4) 피실험자 1, 2, 3의 평균 동체속도 변화

피실험자들 평균 동체속도는 터널미확인구간에서 가장 높고 터널확인구간에서 낮아져 터널내부구간에서 급격히 낮아지다가 터널진출후구간에서 그 속도가 회복된다.



<그림 14> 동체속도의 변화(피실험자 평균)

4 시지각변화의 통계적 유의성 검증

피실험자들의 좌우 주시영역폭의 변화, 상하 주시영역폭의 변화, 동체속도의 변화에 대하여 분석하여 보았다. 그 결과 각 구간에 따라 시지각이 변화한다는 것을 알았다. 이에 분산분석을 통해 각 구간에 따라 시지각의 유의성을 통계적으로 검증하고자 한다.

1) 피실험자 1에 대한 분산분석 결과

(1) 좌우 주시영역폭

미확인구간과 확인구간, 미확인구간과 터널 내부구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간, 확인구간과 터널 내부구간이 유의하지 않은 구간으로 나타났다.

(2) 상하 주시영역폭

P-value = 0.1152이므로 유의수준 99%에서 귀무가설을 채택한다. 그러므로 각 구간은 서로 차이가 없다.

(3)동체속도

미확인구간과 터널 내부구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간이 유의하지 않은 구간은 나타났다.

2) 피실험자 2에 대한 분산분석

(1) 좌우 주시영역폭

미확인구간과 확인구간, 미확인구간과 터널 내부구간, 확인구간과 터널진출후구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간이 유의하지 않는것으로 나타났다.

(2) 상하 주시영역폭

미확인구간과 터널 내부구간, 터널 진출후구간과 확인구간, 터널 진출후구간과 터널 내부구간은 나타났다.

(3) 동체속도

미확인구간과 터널 내부구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

3) 피실험자 3에 대한 분산분석

(1) 좌우 주시영역폭

미확인구간과 터널내부구간, 미확인구간과 확인구간, 확인구간과 터널 진출후구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

(2)상하 주시영역폭

터널 확인구간과 터널 진출후구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

(3)동체속도

미확인구간과 터널내부구간, 미확인구간과 확인구간, 확인구간과 터널 진출후구간, 터널 내부구간과 터널 진출후구간은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

첫째, 고속도로 터널구간에서의 주행속도 변화는 터널이 보이기 시작하면 주행속도가 감소추세를 보이며, 터널 진입후 100m를 주행한 후 주행속도가 최저가 되고 이 지점을 지나면서 주행속도가 상승하여 터널을 진출한 이후 주행속도가 터널이 보이기 전 주행속도로 회복되는 것을 확인하였다. 둘째, 고속도로 터널구간에서의 좌우 주시영역폭의 변화는 터널이 보이기 시작하면 좌우 주시영역폭이 감소추세를 보이며, 터널 진입후 좌우 주시영역폭이 최저가 되고 터널을 지나면서 좌우 주시영역폭은 상승하여 터널을 진출한 후 터널이 보이기 전 좌우 주시영역폭으로 회복된다. 즉 주행속도의 변화와 좌우 주시영역폭의 변화는 유사하다. 셋째, 고속도로 터널구간에서의 동체속도 변화는 터널이 보이기 시작하면 동체속도는 감소추세를 보이며, 터널 진입후 동체속도는 최저가 되고 터널을 지나면서 동체속도는 상승하여 터널을 진출한 후 터널이 보이기 동체속도로 회복된다. 즉 주행속도 변화와 동체속도 변화는 유사함을 알수 있다. 넷째, 고속도로 터널구간에서의 상하 주시영역폭의 변화는 일정한 유형으로 변화하지 않음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 조 현우, 장 명순, 연속되는 터널의 도로교통용량 감소특성에 의한 터널보정 계수 산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제16권, 제3호, 1998
2. 장 현봉,장 덕형, 터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제16권, 제3호, 1998
3. 신 용균, 이 건호, 강 수철 고속도로 기하구조가 운전자 운전운동에 미치는 영향, 도로교통안전협회, 96-13-286, 1996
4. 신 용균, 이 건호, 박 지영, 노년층 교통참가자의 운전행동 및 교육내용에 관한 연구, 도로교통안전관리공단, 98-07-336, 1998
5. 남궁 문, 서 승환, 주행속도 및 시각밀도에 대한 운전자의 인지특성, 대한토목학회논문집, 제16권, 제III-5호, pp. 379 ~ 389, 1996
6. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정, 건설교통부, 1990
7. 유 경수, 이 건호, 강 수철, 고속도로 교통지체구간 개선방안 연구, 한국도로공사, 도로연 95-23-3, 1995

V. 결론