



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

RTK-DGPS를 활용한 개별차량  
안전대리변수 측정방안 연구

Measuring Surrogate Safety Measures of  
Individual Vehicles Using RTK-DGPS

2015년 2월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

박성용

# RTK-DGPS를 활용한 개별차량 안전대리변수 측정방안 연구

Measuring Surrogate Safety Measures of Individual  
Vehicles Using RTK-DGPS

지도교수 고 승 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함  
2014 년 10 월

서울대학교 대학원  
건설환경공학부  
박 성 용

박성용의 석사 학위논문을 인준함  
2014 년 12 월

위 원 장 \_\_\_\_\_ (인)

부위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

## 국문초록

교통 관련 인적손실과 물적손실이 발생함에 따라, 대다수의 통행이 발생하는 도로교통에서의 안전에 관한 관심이 계속 되어왔다. 도로교통을 운영함에 있어서 각 구간 및 지점에 대한 사전, 사후 조치를 취하기 위하여 도로 구간 상의 위험을 측정하고자 하는 노력의 일환으로 traffic conflict techniques (TCT) 의 도입 이후 지속적으로 발전되어 온 차량 주행과 관련한 안전연구 중에서도 surrogate safety measure(SSM)를 이용하여 도로상의 위험을 측정하는 방식은 사고의 직접적인 원인과 연관된 차량의 거동을 분석 대상으로 한다는 장점을 가지고 있다.

그러나 한 지점에 국한된 정보를 이용하기 때문에 위험을 연속적으로 분석하는 데에 제약이 있다. 안전대리변수를 측정하는 데에 제기되는 문제들로서는 차량궤적을 파악하는 데 있어서의 용이성, 측정결과에의 정밀도 및 현실성과 관련한 문제들이 있다. 이러한 문제들 때문에 안전대리변수를 측정하고자 하는 연구에서는 시뮬레이션을 이용한 방법을 주로 사용하여왔으며, 영상처리방식을 이용한 측정이 주를 이루었다. 이러한 기존 측정방법들의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 RTK-DGPS를 이용하여 time-to-collision(TTC), deceleration rate to avoid collision(DRAC), acceleration noise(AN) 등의 안전대리변수를 측정하는 데에 필요한 문제들을 고려한 방법론을 설정하였다.

본 연구에서는 4차간의 실험을 통해 연속류도로에서의 주행안전도를 알기 위한 안전대리변수를 측정방법론을 수립하였다. 동부간선도로

에서의 돌발통계를 활용하여 선정된 월계1교~녹천교, 노원교~수락지하차도 구간과 5년간 고속도로 교통사고 속보자료를 이용하여 선정된 사고다발구간과 대조구간인 영동고속도로 북수원IC-부곡IC, 동군포IC-군포IC를 대상으로 개별 실험차량의 정밀한 궤적자료를 추출하였다. 추출된 궤적자료를 통해 안전대리변수를 측정하는 실험을 수행한 결과를 제시하였으며, 돌발통계와 사고자료에 의한 위험구간으로 선정된 구간에서 대조구간 대비 안전대리변수의 변동성이 큰 것으로 나타났다.

이와 관련 기존문헌 결과와의 비교를 통해 본 측정방법론의 함의를 검토하고자 하였다. 본 연구는 향후 다양한 구간 특성 및 운전자 특성에 따른 위험상황을 설명하는 연구와, 위험구간 감지 및 위험한 운전행태의 감지를 통한 사고예방에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**주요어** : RTK-DGPS, 안전대리변수, Time-to-Collision, Deceleration Rate, Acceleration Noise, Vehicle trajectory

**학 번** : 2013-20927

# 목 차

제1장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 구성 .....	4
제2장 선행연구 검토 .....	5
2.1 안전대리변수의 개발 .....	5
2.1.1 Time-to-collision (TTC) .....	8
2.1.2 Deceleration Rate to Avoid Collision .....	9
2.1.3 Acceleration Noise .....	10
2.2 안전대리변수의 측정방법 .....	11
2.2.1 시뮬레이션을 이용한 차량궤적자료 구득 .....	13
2.2.2 실측을 통한 차량궤적자료 구득 .....	15
2.3 선행연구 시사점 및 본 연구와의 차별성 .....	16
제3장 연구 방법론 .....	18
3.1 측정방법론 검토 .....	18
3.1.1 측정장비 특성 .....	18
3.1.2 본 연구의 측정방법론 제시 .....	21

<b>3.2 RTK-DGPS 장비활용 실험설계</b> .....	25
3.2.1. 1차 실험.....	25
3.2.2. 2차 실험.....	26
3.2.3. 3차 실험.....	28
3.2.4. 4차 실험.....	31
<b>3.3. RTK-DGPS 활용 실험 수행</b> .....	34
3.3.1. 1차 실험.....	34
3.3.2. 2차 실험.....	34
3.3.3. 3차 실험.....	36
3.3.4. 4차 실험.....	37
<b>3.4 수집 자료 처리</b> .....	41
3.4.1 자료의 일관성 확인.....	41
3.4.2 속도 자료의 Data Cleaning 기법.....	43
<b>3.5 RTK-DGPS 궤적자료를 이용한 안전대리변수 계산</b> .....	44
3.5.1 Time-to-Collision (TTC).....	44
3.5.2 Deceleration Rate to Avoid Collision (DRAC).....	45
3.5.3 Aceleration Noise (AN).....	46
<b>제4장 분석 결과</b> .....	47
4.1. 경부고속도로 분석 실험 (2차).....	47
4.1.1 TTC 측정 결과.....	48

4.1.2. 가속소음 측정결과.....	49
4.1.3. DRAC 측정결과.....	51
<b>4.2. 동부간선도로 분석 결과(3차).....</b>	<b>52</b>
4.2.1. TTC 분석 결과.....	54
4.2.2. 가속소음 분석 결과.....	58
4.2.3. DRAC 분석 결과.....	60
<b>4.3 영동고속도로 실험(4차).....</b>	<b>62</b>
4.3.1 TTC 분석 결과.....	62
4.3.2. 가속소음 산출결과분석.....	66
4.3.3. DRAC 산출결과분석.....	69
<b>4.4 종합분석.....</b>	<b>70</b>
4.4.1. 동부간선도로(3차 실험) 의정부 방향 종합분석.....	70
4.4.2. 영동고속도로(4차 실험) 인천방향 종합분석.....	71
4.4.3. 영동고속도로(4차 실험) 강릉방향 종합분석.....	73
<b>5장 결론 및 향후 연구과제.....</b>	<b>75</b>
<b>참고문헌.....</b>	<b>77</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>81</b>



## 표 목 차

<표 2-1> Braking Application의 장단점 (Hayward, 1972).....	6
<표 2-2> Overall desirability (Allen et al., 1978).....	7
<표 2-3> 안전대리변수 값의 해석.....	10
<표 2-4> 차량계적자료 측정방법비교를 위한 성능.....	12
<표 2-5> 본 연구 측정방법의 특징점 비교 .....	17
<표 3-1> RMC 포맷 예시자료.....	24
<표 3-2> 서울시 경부고속도로 사고발생 건수(2013).....	28
<표 3-3> 동부간선도로 3차실험구간 상행(의정부)방향 돌발건수 (2013)	31
<표 3-4> 동군포IC-군포IC 15시-18시 시간대 별 5년간 사고건수.....	33
<표 3-5> 북수원IC-부곡IC 15시-18시 시간대 별 5년간 사고건수.....	33
<표 3-6> 실험 수행 공간적 시간적 범위.....	33
<표 3-7> 2차 실험 개요 .....	36
<표 3-8> 3차 실험 개요 .....	37
<표 3-9> 인천방향 세부 통과시간.....	39
<표 3-10> 강릉방향 세부 통과시간.....	39
<표 3-11> 4차 조사 요약 .....	40
<표 4-1> 3차 실험 분석 구간 별 TTC 통계량 .....	56

<표 4-2> 3차 실험 구간 임계값 미만 관측시간 비율 (TTC) .....	56
<표 4-3> 전체 분석 구간 별 AN 통계량 .....	58
<표 4-4> 전체 분석 구간 별 TTC 통계량 .....	62
<표 4-5> 임계값 미만 관측시간 비율 (TTC) .....	63
<표 4-6> 기존 TTC 사용 문헌에서의 실험비교 .....	64
<표 4-7> 각 문헌별 관측시간 대비 TTC 임계값 미만 비율 .....	64
<표 4-8> 전체 분석 구간 별 AN 통계량 .....	67
<표 4-9> 임계값초과 관측시간(AN).....	68
<표 4-10> 동부간선도로 (3차 실험) 주행안전변수 산출 .....	71
<표 4-11> 인천방향 주행안전변수 산출 .....	73
<표 4-12> 강릉방향 주행안전변수 산출.....	74

## 그림 목 차

[그림 2-1] Collision Generation Process	11
[그림 3-1] 연구에서 사용한 RTK GPS 수신기	19
[그림 3-2] 본 실험 1차 조사 RTK-DGPS와 스마트폰 AGPS 궤적정보	21
[그림 3-3] 연구 진행 단계	21
[그림 3-4] RTK-DGPS가 설치된 실험용 차량	22
[그림 3-5] RTK-DGPS 수신기와 제어기 역할을 하는 노트북	23
[그림 3-6] 1차 실험 차량주행궤적	26
[그림 3-7] 경부고속도로 서초IC~양재IC 진출입로 대기행렬	27
[그림 3-8] 3차 실험 주행궤적	29
[그림 3-9] 영동고속도로 분석대상구간	32
[그림 3-10] 2차 실험차량 주행 시공도 (13:40-14:15, 25분간)	35
[그림 3-11] 실험 주행 중 촬영 영상	40
[그림 3-12] 실험 주행경로와 궤적자료의 위치정보 일관성 확인	41
[그림 3-13] 인천방향 5분 집계 VDS 속도자료	42
[그림 3-14] 강릉방향 5분 집계 VDS 속도자료	42
[그림 3-15] 실험차량의 속도 이상치	43
[그림 4-1] 2차 실험 구간에서의 TTC 측정결과	48
[그림 4-2] 2차 실험 구간에서의 가속소음 측정결과	49

[그림 4-3] 2차 실험 구간에서의 DRAC 측정결과 .....	51
[그림 4-4] 3차 실험 구간 TTC 측정 결과.....	54
[그림 4-5] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 TTC 측정결과 .....	55
[그림 4-6] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 TTC 측정결과 ...	55
[그림 4-7] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 AN 측정결과.....	59
[그림 4-8] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 AN 측정결과.....	59
[그림 4-9] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 DRAC 측정결과.....	60
[그림 4-10] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 DRAC 측정결과	61
[그림 4-11] 영동고속도로 분석 대상구간 내 TTC 분포.....	62
[그림 4-12] 분석대상 구간 내 가속소음 분포.....	66
[그림 4-13] 분석대상구간에서의 DRAC 분포.....	69
[그림 4-14] 3차 실험 상행(의정부)방향 주행속도 측정결과.....	70
[그림 4-15] 인천방향 1회차 주행 속도 비교.....	72
[그림 4-16] 강릉방향 1회차 주행속도.....	73

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 사회 전 분야를 막론하고 안전에 대한 가치들이 재조명 받고 있으며, 이에 발 맞춰서 안전과 관련된 다양한 관점에서의 연구가 진행되고 있다. 교통부문에서는 특히 안전함이 보장되지 않을 경우에 사람의 신체에 심각한 건강상의 손실을 야기할 수 있기 때문에, 안심하고 살 수 있다는 것과 관련된 삶의 질적 차원의 문제로 접근하고 있다. 2012년 통계청에서 발표한 사망원인통계<sup>1)</sup>에 따르면, 교통사고로 인한 사망자의 수는 10만 명 당 12.6명 수준으로 전체 사망원인 중 9위에 해당할 정도로 높은 비중의 원인을 차지한다. 이러한 교통사고에 대한 심각성과 이에 대한 중요성은 젊은 층의 사망원인으로 들어갈 경우 더욱 고조됨을 확인할 수 있다.

10세 미만의 영유아와, 10대, 20대의 경우 전체 사망원인 중 교통사고(운수사고)는 2위에 해당하며, 30대의 경우에도 3위에 해당하며 전체 사망원인의 약 20%를 차지하는 만큼 전체 인적손실에 대비하여 교통안전과 관련된 인적손실은 상당히 비중이 큰 편이라고 할 수 있다. 이러한 손실에 대응하여 교통안전분야에 대한 관심이 제고되고 있다.

교통분야에서도 이러한 교통안전과 관련하여 사고에 관한 사전 조치(Precautious Procedure) 및 사후 조치(Posterior Procedure)를 수행하

---

1) 2012년 사망원인통계, 통계청, 2013

여 교통시설을 운영함에 있어서 사용자가 안전하게 운행할 수 있도록 유지하고자 하는 노력을 기울이고 있다.

특히 도로교통을 운영함에 있어서, 각 구간 및 지점에 대한 조치를 취하기 위해서 어떠한 방법으로 조치 대상구간을 선정해야할 지에 대한 다양한 접근방법들이 연구되어왔다. 초기에는 사고가 자주 발생하는 구간에 대한 사후 조치를 중심으로 연구가 발전되기 시작하였는데, 점차적으로 사고가 자주 발생하는 구간에 대한 원인분석과 더불어, 어떠한 조건에서 사고가 자주 발생하게 되는지에 대한 연구로 발전하고 있다. 손쉽게 측정가능하며, 사고 잦은 구간에 대한 원인분석을 가능하도록 하는 지표에 대한 관심이 높아졌고, 이러한 구간에서의 주행조건에 대한 관심도 더불어 높아졌다.

이와 같이 교통안전에 대한 중요성이 고조되는 가운데서, 우리 삶의 일상과 가장 가까운 도로교통에서 발생하는 위험성을 측정하는 방법에 대한 연구가 그 동안 진행되어왔다. 이러한 연구들에서 목표로 삼고 있는 다양한 가치들 중에서 모두 교통안전(Safety)과 안정성(Stability) 관련된 부분들을 주요관심사항으로 제시하고 있다는 점에서 어떠한 방법으로 이를 측정할 것인가에 대한 관심이 집중되고 있다. 그 중에서도 사고의 직접적인 원인이 될 수 있는 차량의 거동에 관련한 정보들을 측정하고, 이러한 위험한 거동을 여러 가지 safety surrogate measure (SSM, 안전대리변수)들을 이용하여 표현함으로써 안전성을 나타내는 방법이 있다. 여타의 지표들과 달리 안전대리변수를 활용함으로써 다른 방법론과는 달리 위험한 상황의 주체인 차량의 정보를 이용한 분석이 가능하다. 이러한 점에서, 위험의 원인을 보다 실질적으로

규명할 수 있다는 장점을 갖는다.

이러한 안전대리변수를 이용하여 분석을 수행하기 위해서는 차량의 거동정보가 구득되어야 한다. 기존의 연구방법론에서는 주로 주행시물레이터에 의한 자료, 미시교통류시물레이션에 의한 자료와 같이 컴퓨터 시물레이션을 이용하여 실제 환경을 모사한 주행환경을 통해 차량 거동정보를 얻거나 분석대상지점 주변의 현장에 파견된 조사원의 목측에 의한 조사자료, 분석대상지점에 영상검지기를 설치하여 얻는 자료를 이용하여 차량거동정보를 구득하고 있다. 즉, 두 방법 모두 분석하고자 하는 지점을 선정하여 해당지점에 근거한 분석만을 수행하게 된다.

지점기반의 분석은 해당지점에 국한되는 분석이기 때문에, 설정된 짧은 분석구간 이외의 지점에서의 상충의 가능성은 판단할 수 없다. 사고가 발생할 수 있는 가능성은 주행경로 상 어디에서든지 존재함에도 불구하고, 현재의 방법론으로는 특정지점의 짧은 구간에 대해서만 분석할 수 있게 된다. 또한 현행 방법론에서 사용하는 자료들은 각각 한계점을 갖는다. 시물레이션을 이용한 자료는 실제 현장에서 구득된 자료가 아니라는 점에서, 운전자 운전 행태나 차량의 거동을 완벽하게 모사하기는 어렵다는 점이 부각된다. 한편, 현장에서 조사원의 목측이나 영상촬영을 통해 얻게 되는 정보는 정보수집환경과 측정의 정확성 부분이 문제점으로 지적 될 수 있다.

따라서 이러한 한계점을 극복할 수 있는 자료수집 방법론을 검토하고, 검토된 방법론을 활용하여 실제 차량의 차량계적 연속측정을 통해 0.1초 단위의 안전대리변수를 산출하고, 이를 실제 사고가 빈번한 도로

구간과 상대적으로 덜 빈번한 도로구간에서 비교함으로써 위험도 분석 방안을 제시하고자 한다. 또한 이를 통해 해당구간의 주행상황과 측정된 안전대리변수를 이용하여 주행안전 비교를 위한 지표를 제시하고자 한다.

## 1.2 연구의 구성

본 연구는 다음과 같은 순서로 구성된다.

2장에서는 기존연구에서 시행되고 있는 안전대리변수 측정방법론의 성능을 비교하기 위한 기준을 설정하고, 문헌검토를 통해서 측정하고자 하는 안전대리변수들에 대한 검토와 더불어, 안전대리변수를 측정하고자 했던 방법론들을 소개하고 이를 비교하였다. 이어지는 3장에서는 real-time kinematic differential global position system(RTK-DGPS)을 이용하여 실제 차량의 주행구간과 궤적정보를 수집하여 안전대리변수를 측정하는 방법론을 구상하였다. 이 방법은 환경 제약에 민감한 요소가 적어, 상대적으로 정확한 자료 구득이 가능하다는 장점을 이용하여 개별차량들의 궤적자료를 연속적으로 측정하여 도로구간에서의 안전대리변수를 정밀하게 측정할 수 있다. 4장에서는 수립된 방법론을 통하여 RTK-DGPS 수집자료를 활용하여 다양한 도로조건에서 안전대리변수를 산출하고, 이를 이용한 도로 상의 위험성을 판단하는 실험을 실시한다. 마지막으로 제시한 방법론의 합리성을 검토하고, 그 활용방안에 대하여 논한다.



## 제2장 선행연구 검토

### 2.1 안전대리변수의 개발

교통공학적 해결책을 제시하기 위한 교통안전관련 연구에는 사고 확률에 대한 예측모형이나, 시설과 사고와의 연관성에 대한 연구가 있다. 그러나 실제 사고나 시설을 건설하여 그 영향을 살피는 것은 비용 상의 문제로 매우 어렵다.

1960년대 후반, 미국의 General Motors 연구소(General Motors Research, GMR)에서는 traffic conflict technique (TCT)를 도입하였다. TCT는 사고의 발생을 기다리지 않고, 적절한 행동을 취할 수 있도록 하기 위한 목적에서 연구되었으며, 도로구간에서의 위험의 정도를 측정하는 방법으로 활용되었다. GMR의 연구에서는 운전자의 회피 기동행태를 파악하기 위하여 운전자의 감속 행태와 차로변경 행태를 관찰하였고, 더불어 발생하는 교통 방해(Traffic violations) 행위들에 관심을 가졌다.

해당 연구들이 진행되던 당시 차량의 Brake Light의 켜고 꺼짐을 이용해 collision-prediction model의 주된 설명자(descriptor)로 활용하고자 하였으나, 만족스러운 결과를 얻지는 못하였다. (Allen et al. (1978))

<표 2-1> Braking Application의 장단점 (Hayward, 1972)

장점	단점
-용이한 식별 및 계수 -자료수집의 주관성 배제 -대부분 Conflict에서 Braking 발생	-운전자 별 상이한 감속패턴 -심각도 평가 불가 (On/Off의 Binary) -감속으로 인한 위험발생가능 -관측가능범위가 국소

이에 Hayward(1972)는 time (measured) to collision (TTC)를 제안하여, Braking Application의 단점을 일부 보완하고자 하였다. 이와 유사한 개념을 Hyden(1975)에서도 Time to accident (TA)를 사용하기도 하였다. 이들 TTC, TA 모두 해당지점에서의 Conflict의 발생가능성을 판단하는 지표로서 이러한 접근은 향후 surrogate safety measure (SSM)들의 개발로 이어졌다.

Allen et al. (1978)은 앞선 연구들에서 제시된 상충(conflict)을 분석하기 위한 지표들을 이용하여, 특정 교차로의 좌회전 상황에서 발생하는 충돌(collision)을 분석하기 위하여 사용하였다. 사고 이력, 다른 지표들과의 관계, 시간적 일관성, 제동 능력과의 관계, 측정의 용이성, 다른 충돌 형태와의 적합성의 6가지 요소를 고려하여 활용되고 있는 지표들의 overall desirability 순위를 매겼다.

<표 2-2> Overall desirability (Allen et al., 1978)

순 위	지표	설명
1	Gap time	모든 차량들 간의 Time Gap
2	Post-encroachment time	어떤 충돌 가능성이 있는 지점을 기준으로 선행차량이 그 지점을 떠난 이후 후행차량이 그 지점을 통과하는데 까지 소요되는 시간 간격
3	Deceleration rate (to avoid collision)	충돌을 피하기 위해 차량이 취해야할 감속도
4	Encroachment time	선행차량이 (교차로에서) 다른 후행차량들의 진행권(right-of-way)을 점유한 상태일 때 그 점유시간의 길이
5	Initially attempted post-encroachment time	(교차로에서) 회전차량이 충돌 예상지점을 통과하기 위해 진입하는 시간 + 통과(후행) 차량이 충돌예상지점에 도착하는데 소요되는 시간 + 회전차량에 의한 점유종료시간
6	Proportion of stopping distance	$\frac{\text{접근하는 차량의 제동거리}}{\text{충돌예상지점까지의거리}}$

차량들이 주행하는 도로구간에서의 위험성을 평가하여 도로교통의 안전성을 개선하고자 안전대리변수를 이용하는 분석법은 사고의 직접적인 원인이 될 수 있는 차량의 실제 거동자료를 측정하여 위험성을 판단한다는 점에서 유용하다고 평가받고 있다. 때문에 차량의 거동과 직접적으로 관련 있는 속도와 가속도, 차간거리를 중심으로 다양한 안전대리변수들이 개발되었고, 이를 이용하여 도로구간에서의 위험을 제

시하는 연구가 진행되고 있다.

### 2.1.1 Time-to-collision (TTC)

Hayward(1972)는 time-to-collision(TTC) 개념을 처음으로 제시하였다. TTC는 두 차량이 현재 주행상태와 같은 방향 및 속도로 주행한다고 가정할 때, 충돌하는데 소요되는 시간을 의미한다. 때문에 선행차량이 추종차량보다 속도가 빠를 경우, TTC를 이용한 분석이 원천적으로 불가능하다. 그러나 두 차량 간의 충돌 위험성을 비교적 간단한 방법으로 비교해 볼 수 있어, 다양한 연구에서 활용하고 있다.

Hayward(1972)가 최초로 TTC 개념을 제시했을 때, critical 한 값으로 고려했던 값은 1.0초로 제시하였으나, 이후 Grayson (1984), van der Horst (1984), Hyden (1987), van der Horst (1990)의 연구에서는 교차로를 분석할 때의 critical value of TTC를 1.5초로 사용하였다. 이후 본격적인 Collision avoidance를 위한 연구가 진행됨에 따라 van der Horst (1993)에서는 TNO driving simulator를 이용한 연구를 통해, 고속 주행중에 운전자의 반응시간을 고려한 적절한 critical value of TTC로 4.0초를 사용하였다. 이후 TTC를 이용한 안전도 분석을 위해서 Hirst and Graham (1997)의 연구에서는 3초의 임계값을 임계값으로 적용하고 있다.

TTC가 최초에 제안될 때에는 conflict severity를 측정하기 위한 용도로 제안되었다. 그러나 Ozbay et al.(2008)는 TTC는 충돌의 확률이 높고 낮음을 표현할 수 있을 뿐, 충돌의 심각도를 표현하고 있지는 못하다는 점을 지적하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 modified

time-to-collision (MTTC)을 제시하였다. 이를 통해 기존 TTC의 두 차량 간 상대속도에 따른 한계를 극복하고, 사고 심각도를 반영하는 Crash Index (CI)를 개발하였다.

### 2.1.2 Deceleration Rate to Avoid Collision

Cooper and Ferguson(1976)은 후행차량이 위험상황을 인지하고 감속하기 시작할 때의 충돌 회피 감속도로서 deceleration rate to avoid collision(DRAC) 개념을 제시하였다. deceleration rate는 일반적인 감속도 개념을 사용하는 것으로, 연구자에 따라 Lee et al.(2002)는 maximum deceleration rate(MaxDR)로, Getman and Head(2003)는 deceleration rate(DR) 등으로 다양하게 사용되고 있다. 각 지표들은 어떤 시점  $t$ 에서의 감속도의 크기를 나타낸다는 점에서 서로 유사하며, 이는 운전자의 위험 상황에 대한 반응이 감속을 통해 현시되고 있음을 이용한 지표이다. 그 중에서도 DRAC는 관측시점에서의 속도와 차간거리를 활용하여 두 차량 간의 충돌가능성을 검토해 볼 수 있다는 점과 비교적 간단하게 산출할 수 있다는 점에서 의미 있는 지표로 활용되고 있다.

선행연구자들은 선행차량에 의해 발생한 급격한 감속행위, 차로변경 행위, 간격수락행위가 후행차량의 감속행위로 설명하고 있다. 이러한 사건들에 대한 결과로서 감속이 수행되며, 이 감속의 크기를 활용하여 위험의 정도를 판단하고자 하였다. Almquist et al.(1991)은 이러한 관계를 등가속도를 가정한 간단한 운동방정식을 이용하여 제시했다. AASHTO(2004)는 다수 운전자에 대한 적정 최대감속도 값으로는

3.4m/s<sup>2</sup>를 제시하고 있다. 유사하게 Archer(2005)는 3.35 m/s<sup>2</sup>라는 최대감속도 값을 제시한 바 있다.

### 2.1.3 Acceleration Noise

Herman et al.(1959)과 Drew&Keese(1965) 등은 가속도의 평균값에 대한 가속도의 표준편차로 변화의 크기를 측정하고자 했으며, 이를 가속소음으로 정의하였다. Acceleration Noise의 개념은 차량추종이론(car-following) 관련 연구의 결과를 통해 개발되었으며, Jones and Potts(1962)는 해당구간의 차량군의 안정성, 정체의 영향에 대한 분석에 사용하기 시작하였다. 이들 연구에서는 분석대상 거동이 측정된 가속도의 평균으로부터의 편차가 작을수록 안정적인 거동으로 보았으며, 클수록 불안정한 거동으로 보았다. 특히 이러한 차량의 가감속은 운전자의 변동을 측정할 수 있는 수단으로 사용될 수 있다는 점에서 의미 있는 지표라고 할 수 있다.

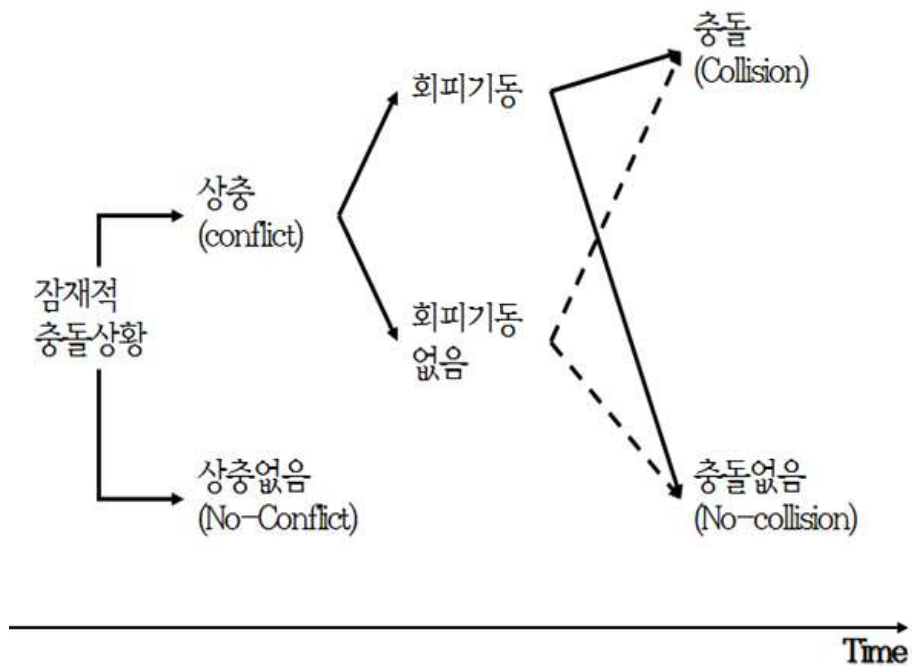
이를 통해 운행 중인 차량의 속도 변화의 크기와 빈도수가 개별차량의 움직임에서의 안정성과 관련되어 있다고 판단하고 이를 표현하기 위한 지표로서 Acceleration Noise를 제시하였다. Herman et al. (1959)의 실험에서는 Acceleration Noise의 분포범위를 상대적으로 비교함으로써 두 실험조건에 따른 안정성을 비교하기도 하였다.

<표 2-3> 안전대리변수 값의 해석

안전대리변수	임계값	의미
time to collision (TTC)	1.0 ~ 4.0 sec	작을수록 위험
acceleration noise (AN)	-	클수록 위험
deceleration rate to avoid collision (DRAC)	3.4 m/s <sup>2</sup>	클수록 위험

## 2.2 안전대리변수의 측정방법

안전대리변수 산출을 위한 차량거동자료의 활용은 최초 Collision Analysis를 위한 측정에서부터 시작되었다. [그림 2-1]에서 보는 것과 같이 충돌이 발생되기 전에 앞서 충돌발생의 과정을 분석하여 존재하는 상충을 확인하고 이를 이해하기 위한 노력의 일환이었다.



출처 - Allen, B. L., B. T. Shin, and P. Cooper. Analysis of traffic conflicts and collisions. Transportation Research Record : Journal of Transportation Research Board, No. 667, 1978, pp.67-74

[그림 2-1] Collision Generation Process

이러한 상충과 충돌을 분석하기 위해서 주로 목측과 영상처리방식을



사용하여 안전대리변수를 직접 측정하거나, 차량계적정보를 측정하여 왔다. 그러나 이러한 방식들을 이용하여 차량의 상충, 충돌 시점 및 지점을 파악하는 일은 매우 어려운 문제로 작용하였으며, 이를 파악하였더라도 정확하게 그 값을 측정할 수 있는지와 같은 문제들이 제시되었다. 이러한 문제들을 회피할 수 있는 시뮬레이션을 활용한 연구에서는 산출된 값이 현실적 차량거동행태를 잘 묘사할 수 있는가와 관련된 시뮬레이션 정산(Calibration) 문제가 대두 되었다. 제시된 세 가지 문제를 정리하여 차량계적자료측정방법론을 비교하기 위한 성능을 정리하면 아래 <표 2-4>와 같다.

<표 2-4> 차량계적자료 측정방법비교를 위한 성능

성능	설명
측정의 용이성 (Easiness of measuring)	현장에서 측정을 실시할 때, 쉽게 차량계적자료를 구득할 수 있는가?
자료의 신뢰성 (Data Reliability)	측정된 계적자료가 자료생성당시의 참값을 정확하게 측정할 수 있는가?
자료의 현실성 (Data Reality)	측정된 계적자료가 현실적 차량거동을 잘 묘사하고 있는가?

특히 일정범위만큼의 공간적 범위에서의 연속 측정가능 여부는 해당 지점에서의 수행범위가 넓을수록 많은 측정 장비 및 인원이 투입되어야 함을 의미하게 된다. 그러나 충돌은 매우 임의적으로 발생하므로, 관측시점 및 위치를 특정하기 어렵다는 문제점이 존재한다.

그리하여 측정범위는 지점에서의 단일측정값을 이용하는 방법과 각 차량의 주행궤적을 지점에서 일정구간동안 연속적으로 측정하는 방법

이 있다. 단일 지점에서의 측정값을 이용하면, 실제로는 주행 경로 상 어느 지점에서든 사고발생 가능성이 있음에도 불구하고 해당지점에 국한된 거동자료를 이용하게 된다는 점에서 한계로 지적되고 있으며, 차량 주행궤적을 연속적으로 측정하는 방법은 장비 등의 현실적인 어려움에 봉착하게 된다.

Chin and Quek(1997)는 고속도로의 합류 상황에 대하여 TTC, DRAC를 각각 반응시간, 반응크기라는 위험요인으로 상정하고 이를 이용하여 위험정도를 측정할 수 있다는 Framework를 제시하였다. 이러한 차량 주행정보를 직접 측정하여 안전대리변수를 추정하고자 하는 노력도 지속적으로 진행 되었다. 현장자료의 구득 방법에 따라 목측, 영상검지기반의 차량궤적인식의 방법을 주로 사용하였고, 현장자료가 아닌 시뮬레이션 기반으로 한 자료 획득을 한 연구도 존재했다. 특히 미시교통류 시뮬레이션을 이용하여 차량들의 통행궤적을 산출하는 방법과 주행시뮬레이터를 이용한 안전대리변수를 측정하는 연구도 존재했다.

### 2.2.1 시뮬레이션을 이용한 차량궤적자료 구득

시뮬레이션을 이용한 차량궤적자료 구득방법은 크게 주행시뮬레이터를 이용한 방법과 미시교통류시뮬레이션을 이용하는 방법이 있는데, 주행시뮬레이터의 경우에는 단일차량의 TTC와 DRAC등의 지표를 측정하여 운전자별, 주행조건에 따른 지표값 상대비교를 수행하고 있으나, 실제 도로에서의 운전자의 주행특성이나 실제 차량거동과 관련한 정산(Calibration) 문제가 제기된다. 한편 미시교통류시뮬레이션을 이용

한 차량궤적자료 구득의 경우 미시교통류시물레이션을 이용하여 분석 대상 네트워크를 구축하고, 네트워크상의 모든 차량에 대하여 TTC, DRAC등의 안전대리변수를 산출하여 네트워크 및 시나리오간의 상대 비교가 가능하다는 점에서 유용하나, 차량의 발생시점과 운전자의 주행행태, 네트워크 전반에 대한 정산을 어떤 기준에 맞춰서 하는가에 대한 이슈가 제기된다.

van der Horst et al.(1993)는 주행시물레이터를 이용하여 접근속도와 감속강도에 따라 TTC를 분석하였고, 이를 통해 운전자의 반응시간을 고려하여 분석에 필요한 critical threshold of TTC를 4.0초로 제시하고 있다. 한편, 저시정 조건에서의 주행을 TTC를 이용하여 분석하였다. Sayed et al.(1994)은 TSC-Sim을 이용하여 비신호교차로 데이터를 기반으로 TTC를 분석하여 안전도를 평가하고자 했다. Touran et al.(1999)은 Monte-Carlo simulation을 수행하여, 자율순항주행(AICC)의 안전성 평가를 위해 차두시간을 안전성지표로 사용하였다. Minderhoud and Bovy(2001)는 5km의 합류 램프가 있는 편도 2차로 도로에 대한 시물레이션을 통해서 자율순항주행 장비장착율에 따른 안전도를 비교하였는데, 여기서 TTC를 기반으로 한 time exposed time-to-collision (TET), time integrated time-to-collision(TIT)를 사용하였다. Lee et al.(2002)는 주행시물레이터를 이용하여 후방 충돌경보장치의 설치에 따른 운전자 반응을 시물레이터를 통해서 측정하고 시나리오별로 minimum time-to-collision, maximum deceleration rate를 측정하였다. Gettman and Head(2003)은 미시교통류시물레이터(Vissim, Paramics, Aimsun, Texas)를 이용하여 교차로나 IC에서의

다양한 상충상황을 분석하기 위해 다양한 안전대리변수들을 사용하였다.

또한 Ozbay et al.(2008)은 미국 뉴저지 톨파이크를 기반으로 한 시뮬레이션에서 교차로 분석이 아닌, 링크기반의 분석을 위해 새로운 안전대리변수로서 modified time to collision(MTTC)와 crash index(CI)를 제안하였다. 이 지표를 통해 잠재적 충돌의 확률 및 심각도를 표현하고자 하였다. 제시된 지표들은 linear conflict (rear-end conflict)에 대한 분석으로만 제한적으로 사용되어야 한다고 전제되고 있다.

한편, Saccomanno et al.(2008)은 미시교통류 시뮬레이션 상에서의 신호교차로 및 roundabout의 위험도를 TTC, DRAC 지표를 이용하여 비교하였다.

### 2.2.2. 실측을 통한 차량계적자료 구득

Sayed and Zein(1999)는 현장으로 훈련된 조사원들을 파견하여 현장에서 목측으로 각 차량들 간의 TTC를 관측하고, 이를 정성적인 충돌 위험성과 비교하였다.

Katja(2003)은 stop sign으로 제어되고 있는 4지교차로 현장에서 장비를 이용해 통과차량의 속도와 방향, 앞 뒤 차량의 time gap을 측정하였다. 이를 통해 차두시간과 TTC와의 관계를 조사하고, 교차로의 각 접근로 별 TTC, 차두시간의 분포를 제시하는 방법으로 두 지표의 관계를 비교하였다.

Hourdakis et al.(2006)은 미국 미네소타 주의 고속도로 1마일 구간에서 영상감시체계로 다양한 안전대리변수들을 측정하고, 이를 이용하

여 실제 사고와의 로그회귀모형을 구성하였다. Oh and Kim(2010)은 서해안고속도로 비봉 IC 부근에서 영상촬영 자료를 분석하여 TTC를 기반으로 한 사고확률(crash potential)를 추산하였다. 이는 영상촬영을 통해 차량궤적을 얻고, 이를 각 차량별로 추돌의 발생 확률을 계산하여 위험의 정도를 계산하였다.

이처럼 선행연구는 안전대리변수를 얻기 위하여 주로 크게 지점기반의 측정과 시뮬레이션을 이용하였다. 그러나 기존의 지점기반의 측정은 매 순간 각각 다른 주행조건을 가진 차량들의 거동정보가 반영되므로, 해당 순간의 위험성 이외의 다른 의미를 갖기 어렵고, 다른 공간 및 시간에 측정된 안전대리변수와의 일관성을 갖는지 여부를 확인하기 어려웠다.

차량의 주행구간에 대한 정보를 얻기 위한 노력으로 Guido et al.(2012)는 스마트폰 GPS 센서(AGPS module)를 이용하여 이탈리아의 지방부 2차로 도로를 주행하면서 차량궤적자료를 얻고, 이를 이용하여 TTC와 DRAC를 1초 시간단위(1Hz)로 계산하였다. 그러나 스마트폰 GPS의 경우는 지형 및 도로구조물에 의해 구득되는 주행궤적의 신뢰성 문제가 발생할 수 있다. 즉, 안전대리변수를 산출하는데 있어서 부정확한 값이 계산될 우려가 있다는 점에서 한계점이 있었다.

## 2.3 선행연구 시사점 및 본 연구와의 차별성

다수의 기존연구에서는 각 측정방식이 가지고 있는 한계점에도 불구하고 기존의 방식을 유지해왔다. 본 연구에서는 기존연구가 가진 한계

점으로 지적되는 자료의 현실성 문제해결과 연속측정문제해결이 가능하다는 점에서 RTK-DGPS를 이용한 개별차량의 차량궤적자료의 구득을 기반으로 한다는 점에서 보다 정확한 차량의 궤적자료를 확보할 수 있다는 점에서 차별성을 갖는다. 이를 기반으로 계산된 안전대리변수(SSM)를 활용하여, 구간 별로 집계된 개별차량 단위의 안전대리변수 변동과 각 위치, 시점에서의 안정성을 측정하고자 한다는 점이 기존연구와의 차별점이다.

본 연구에서는 RTK-DGPS를 이용하여 기존의 지점기반이 아닌 주행구간궤적을 얻음과 동시에, 스마트폰 GPS 이용 방식이 가진 지형 및 도로구조물로 인한 한계를 극복하여 선행연구에서 주로 활용되고 있는 안전대리변수인 TTC, DRAC, AN을 산출한다. 주행궤적 내에서 산출되는 안전대리변수는 기존 지점기반 안전대리변수와 달리 연속적으로 측정되어 시공간을 활용한 분석이 가능하며, 실제주행상황에서 사고의 위협을 느낄 수 있는 합류 및 분류상황 등을 안전대리변수를 이용하여 표현할 수 있는지를 검토하고자 한다.

<표 2-5> 본 연구 측정방법의 특징점 비교

측정차량	측정방법	지점측정			연속측정		
		측정 용이성	자료의 신뢰성	자료의 현실성	측정 용이성	자료의 신뢰성	자료의 현실성
개별차량	목측	X	X	O	불가능		
	영상검지	O	△	O	X	△	O
	Guido et al. AGPS	O	△	O	O	△	O
	본 연구 RTK-DGPS	O	O	O	O	O	O
	시뮬레이션	O	O	X	O	O	X
다수차량	영상검지기	O	△	O	△	△	O
	시뮬레이션	O	O	X	O	O	X
<범례> O : 매우 좋음, △ : 좋음, X : 나쁨							

## 제 3장 연구 방법론

### 3.1 측정방법론 검토

#### 3.1.1 측정장비 특성

본 연구에 사용된 RTK-DGPS (Real Time Kinematics - Differential Global Positioning System)는 각각 실시간 운동측위 방식을 이르는 RTK 방식과 상대측위방식을 이르는 DGPS 방식을 사용할 수 있는 정밀 측정장비이다. 우리가 널리 알고 있는 GPS(Global Positioning System, 위성위치 측정 시스템)는 미국에서 1970년대초 특정 대상체의 위치를 정확하게 측정하기 위해 만든 군사 목적의 시스템이다. 현재는 미국을 비롯해 각국에서 운영 중이며 군사 목적뿐만 아니라 민간에게도 개방돼 유용하게 널리 쓰이고 있다. 이러한 각국의 위성측위시스템들을 통칭해 GNSS(Global Navigation Satellite System, 위성측위시스템)라고 하며 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS가 대표적인 예이다. 이후로도 중국의 COMPASS 등의 GNSS 들이 개발되어 사용되고 있다. RTK 방식은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 사용자가 실시간으로 수 cm 의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 방식이다. 이러한 방식은 상대측위 방식인 DGPS 방식과 같이 이미 정밀하게 위치가 결정된 기준점(VRS)을 사용하는 점은 같지만, RTK는 다양한 위상관측치를 선택적으로 방송하는 것이 아니라 위성들의 관측 데이터 전부를 전송하



여 수 cm의 정밀도를 결정하는 기법이다.

GPS 방식의 경우 C/A 코드 하나만을 사용할 경우 10m 이내의 정밀도로 위치를 결정하는 것은 현실적으로 불가능한데, 이것은 수신기가 결정하는 위성까지의 거리자료에 여러 가지 오차 요인이 복합적으로 영향을 미치기 때문이다. 이러한 오차 요인을 보정하기 위해서 제 2의 장치가 수신기 근처에 존재하여 지금 현재 수신된 자료의 상대적인 오차를 실시간(real-time) 혹은 사후처리(post-processing) 방식으로 보정함으로써 위치결정 오차를 극소화 하고자 하는 방식이 Differential GPS (DGPS) 방식이다.



[그림 3-1] 연구에서 사용한 RTK GPS 수신기

본 연구에서 사용한 RTK GNSS 수신기는 Trimble 사의 R5 로서 실시간 상대측위와 후처리 상대측위 방식을 모두 사용할 수 있는 제품으로서 GPS와 GLONASS의 GNSS를 사용할 수 있는 수신기이다. 또한 10Hz 단위의 고해상도의 위치 측정자료를 수신할 수 있으며, RTK 통신이 수행가능하다. RTK 모듈의 작동 여부에 따라 GPS 위치 자료의 정확도 단위가 달라지는데, 본 장비는 RTK 방식과 DGPS 방식을 모두 사용한다는 점에서 5단계의 상태로 위치정보를 수신할 수 있다. GPS 위치좌표 포맷인 GGA 포맷에서 정의하는 바와 같이 위성 수신 상태에 따라 No Signal, GPS 상태(수십 m), DGPS 상태(수 m), RTK float 상태(0.x m), RTK fix (x cm) 상태의 정확도 단계로 나뉜다. 본 실험은 RTK 상태의 정확도로 수 센티미터의 오차범위 안에서 측정된 위치좌표를 이용하여 두 차량의 궤적정보를 활용하여 안전대리변수를 산출해내고 있다. RTK-DGPS은 기존의 카메라 영상처리 방식이 카메라 검지영역의 한계를 극복하고, 기상상태나 노면상태에 의한 촬영제약을 최소화 할 수 있다는 장점을 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 스마트폰 GPS등을 이용한 방식들 보다 더욱 정교한 방법으로 차량 궤적자료를 구득할 수 있게 된다. 그럼으로써 차량의 거동정보와 시간, 위치정보들을 동기화할 수 있게 되어 상충발생시점과 지점정보 획득에 유리한 측면을 가질 수 있게 된다. 실제로 본 연구의 1차 실험에서 RTK-DGPS를 이용한 차량궤적 수신자료와 스마트폰을 이용한 차량 궤적 수신자료는 서로 동일한 차량의 주행결과임에도 불구하고, 스마트폰 GPS 모듈을 이용한 방식은 주행궤적이 일관되지 못한 형태로 나타나는 등의 문제점을 확인할 수 있었다는 점에서 RTK-DGPS를 이용

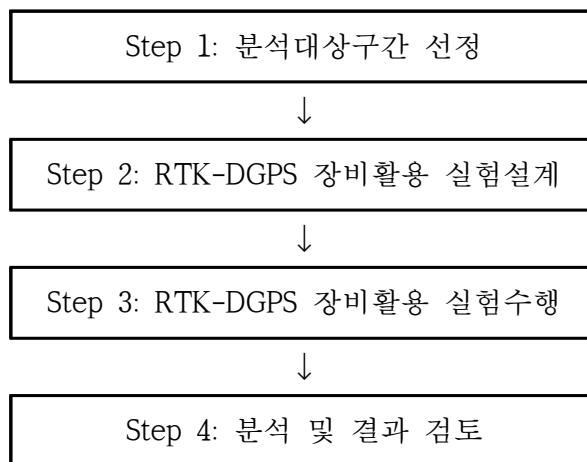
한 정교한 차량궤적측정은 의미 있다고 평가할 수 있다.



[그림 3-2] 본 실험 1차 조사 RTK-DGPS와 스마트폰 AGPS 궤적정보

### 3.1.2 본 연구의 측정방법론 제시

본 연구에서의 안전대리변수 측정방법론은 다음과 같은 단계로 구성된다.



[그림 3-3] 연구 진행 단계

본 연구는 RTK-DGPS를 활용하여 도로구간에서의 주행안전지표를 측정하고자 하는 것이기 때문에, 분석대상구간을 선정하는 것이 가장 우선적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 측정방법론을 개발함에 있어서 다양한 등급과 종류의 도로구간에서의 안전대리변수를 측정하고자 4차에 걸쳐 실험을 수행하였다. 그 동안의 안전대리변수를 이용한 측정 연구들은 차량계적자료 구득의 한계로 주로 교차로나 특정 사고다발지점에서 수행되거나 시뮬레이션을 이용한 방법이었다면, 본 연구에서는 정밀측정장비를 이용하여 차량주행궤적을 따라 연속적으로 실제 상황의 도로구간에서 차량의 실제주행궤적을 이용한 안전대리변수를 측정하고자 하였다. 그리하여 분석대상구간으로 우선적으로 검토된 도로구간은 동일 주행조건이 지속적으로 이어지는 연속류 도로 위 주로 측정을 수행하고자 했다.



[그림 3-4] RTK-DGPS가 설치된 실험용 차량

[그림 3-4]와 같이 두 대의 실험차량의 동일한 위치에 RTK-DGPS의 안테나를 설치하고 차량 내부에 수신기를 설치하였다. GNSS 수신기를 제어기(Controller) 역할을 하는 노트북PC에 연결하여 기준점 신호를 인터넷을 이용하여 실시간으로 받을 수 있도록 하는 Ntrip 방식을 통하여 GPS 신호인 National Marine Electronics Association (NMEA) data를 수신하도록 하였다. NMEA data 중에서 본 연구에서는 recommended minimum data for gps인 RMC 포맷으로 위성수신 자료를 처리하는 방법을 선택하였다.



[그림 3-5] RTK-DGPS 수신기와 제어기 역할을 하는 노트북

RMC 포맷을 선택한 이유로는 포맷의 명칭에서 알 수 있듯 GPS 수신자료 중에서 가장 필수적인 정보인 시간, 경위도 정보와 속도 및 이동방위각, 날짜, 자북편차 등의 정보를 담고 있는 최소 데이터 포맷이기 때문이다. 본 실험은 0.1초(10Hz)마다 자료가 생성되는

RTK-DGPS 수신기를 활용하기 때문에 자료 포맷에 많은 정보가 담길 경우에 불필요한 처리를 하여야 하므로, 실험차량의 필수적 운동정보만을 포함하고 있는 RMC 포맷을 채택하였다.

<표 3-1> RMC 포맷 예시자료

\$GPRMC,082623.20,A,3720.65511589,N,12658.56236863,E,0.026, 106.604,231214,8.0359,W,A*1C		
순번	값	비고
1	\$GPRMC	RMC 포맷을 의미
2	082623.20	측정당시의 Zulu time
3	A	유효한 값인지 확인
4	3720.65511589,N	위도
5	12658.56236863,E	경도
6	0.026	Knot 단위 속도
7	106.604	이동방위각
8	231214	측정날짜
9	8.0359	Magnetic Variation
10	W,A*1C	정상 수신 확인을 위한 값

RTK-DGPS가 설치된 실험차량을 이용하여 분석대상구간을 주행하면서 실시간으로 RMC 포맷의 GPS 위치정보자료를 수신한다. 수신된 자료를 실시간 혹은 후처리 하는 방식으로 차량의 주행궤적을 파악할 수 있게 된다. RMC 포맷으로 저장된 GPS 위치정보자료인 NMEA data를 해독하면 0.1초 간격으로 측정된 해당 실험차량의 위치를 파악할 수 있게 된다. 또한 두 실험차량 간의 위치간격(Gap distance)을 측정된 경위도 좌표를 이용하여 아주 작은 오차단위에서 간격을 측정할 수 있으며, 또한 각 차량의 측정당시의 주행속도를 산출해 낼 수 있다.

이를 통해 두 차량의 동기화(Synchronized) 된 주행궤적자료를 얻을 수 있게 되는데, 본 실험에서 필요한 두 차량의 Gap distance, 속도 및 가속도 정보를 0.1초 시격으로 얻을 수 있고, 이를 처리함으로써 본 연구에서 목표로 하는 안전대리변수인 SSM을 측정하기 위한 기본 자료를 얻을 수 있다.

## 3.2 RTK-DGPS 장비활용 실험설계

### 3.2.1. 1차 실험

본 실험은 총 4차에 걸쳐 측정실험을 실시하였다. 모든 실험은 앞서 언급한 바와 같이 연속류도로에서의 주행을 측정하였다. 1차 실험은 서울시 도시부 고속화도로인 내부순환로 성산IC~홍제IC 구간에서 실시하였다. 대상구간은 다수가 고가구간으로 구성되어 있어 GPS 수신에 제한사항이 적은 구간이기 때문에 채택하였다. 1차 실험의 목적은 우선 RTK-DGPS를 이용한 안전대리변수 측정 분석을 위한 차량궤적자료 획득이 가능한지 여부를 확인하고, 향후 실험 설계 시의 제약사항을 파악하고자 하였다. 1차 실험의 경우에는 RTK-DGPS 장비의 동작 상태를 점검하는데에 초점을 맞춰 실시하였으며, 설정된 방법론을 이용하여 실험차량들의 주행궤적을 구득하는 데에 초점을 맞추었다.



[그림 3-6] 1차 실험 차량주행궤적

### 3.2.2. 2차 실험

한편 2차 실험은 경부고속도로 서초IC~양재IC 구간에서 진행하였다. 해당구간은 서울 시내를 통과하는 구간으로 관리주체가 한국도로공사에서 서울시로 이관되어 운영되고 있다. 해당구간은 경부고속도로의 시점구간과 맞물려 있으며, 방음벽을 제외한 구간 내의 GPS 수신에 제한사항이 적은 구간이다. 또한 경부고속도로 시점부에 해당하기 때문에 수시로 다수의 차량들이 주행을 하는 구간으로 노선버스에 의한 차로변경이 잦은 구간이기도 하므로, 차량간격에 따른 상충도 많은 지역일 것으로 판단하였다.

한편 각 IC의 진출, 진입부의 상류부에 대기행렬이 빈번하게 발생하는 지역이기 때문에 TTC와 같은 차량간격을 이용한 안전대리변수를



이용하면 이러한 해당구간 특성에 따른 상충을 관찰하는 것이 유리할 것으로 판단하여 2차 실험 구간으로 선정하였다. 2차 실험에서는 해당 구간에서 진입/진출에 의한 특성과 구간 내에서의 엇갈림 현상에 의한 특성, 상시적으로 발생하는 대기행렬 구간에서의 안전대리변수를 관찰하고 해당 특성들이 안전대리변수를 이용하여 관찰할 수 있는지 여부를 확인하는데에 중점을 두었다. 또한 두 실험차량 간의 상호작용에 의한 안전대리변수를 확인하는 자료를 생성하고자 하였다.



[그림 3-7] 경부고속도로 서초IC~양재IC 진출입로 대기행렬

해당구간은 비교적 짧은 구간 2.49km 길이임에도 통과교통량(편도 4차로, 연평균 일일 교통량, 2013년 기준 211,130대/일, 서울시 자료)이 많으며, 이 수치는 인접구간인 양재IC~판교IC(편도 5차로, 연평균 일일 교통량, 2013년 기준 177,812대/일, 도로교통량통계연보) 구간과 비교할 때 현저히 많다. 통과교통량의 차이는 고속도로로의 진출입 교통량이 많아 발생하는 것으로 추정된다. [그림 3-7]에서 보는 바와 같이 본선

일부차로에서 대기행렬이 상시적으로 발생하며, 특히 하위차로에서는 본선교통류와의 상호작용으로 상충이 발생하므로 이로 인한 위험요소가 상존한다. 2차 실험은 소통이 원활한 심야시간(23~06시)과 오전 및 오후의 출퇴근시간의 영향을 많이 받는 06시~08시와 18시~20시의 시간대를 제외한 시간대 중에서 비교적 전후방 관측이 유리한 13~14시를 실험시간대로 선정하였다.

서울시 도시고속도로 교통관리센터의 자료에 따르면 서초IC~양재IC 구간을 포함하여 서울시내의 경부고속도로 전 구간(한남대교~양재IC)에서 발생한 교통사고 건수는 2013년 기준 423건이며, 2011년 470건, 2012년 490건 수준을 나타내고 있다. 또한 이 지역에서 발생한 교통사고는 대다수가 추돌사고로 인한 것으로, 추돌상황은 대부분 안전대리변수를 통해 분석할 수 있는 rear-end 상황이므로, 안전대리변수를 이용하여 본 구간에서의 위험성을 판단할 수 있을 것으로 판단하였다.

〈표 3-2〉 서울시 경부고속도로 사고발생 건수(2013)

구분	추돌	충돌	전도	화재	추락	합계
건수	413	7	1	0	2	423

### 3.2.3. 3차 실험

3차 실험은 동부간선도로 중랑교-수락지하차도 구간에서 수행되었으며, 해당구간에서의 궤적자료를 통해 안전대리변수를 측정하였다. 한편 동부간선도로 3차 실험 대상구간인 중랑교-수락지하차도 구간에는 많은 진출입을 위한 연결로가 설치되어 있으며, 지하차도 구간의 설치로

인하여 잦은 분류 및 합류가 이루어지고 있다. 또한 지하차도 구간과 교량하부 구간에서는 위성수신자료 제한으로 인한 GPS 수신률의 정확도가 상당부분 떨어질 수 있다는 점을 감안하여 분석이 진행되어야 할 것으로 판단되었다. 그러나 기본적으로 해당구간은 시가지의 단속류 구간에 비하여 하천변 양안을 주행함으로써 비교적 GPS 수신이 원활한 구간이라고 할 수 있다.



[그림 3-8] 3차 실험 주행궤적

동부간선도로 구간은 서울 시내의 도시고속도로로서 연속류 특성을 가지고 있으며, 2013년 기준 843건의 사고가 발생(서울시 도시고속도로 교통관리센터, 2014)하는 것으로 나타났다. 서울시 도시고속도로 교통관리센터에서 관장하는 동부간선도로 총 연장이 27.2km라는 점을 고려할 때 2013년 기준 km 당 30.9건의 교통사고가 발생하는 것으로 볼 수 있다. 3차 실험이 수행된 구간 내에서 월계1교-녹천교 구간은 구간길이 1.64km로 서울시 도시고속도로 교통관리센터에 따르면, 해당 구간의 2013년 한 해 동안 교통사고, 차량고장, 긴급공사, 낙하물 등을 의미하는 돌발상황 발생이 총 123건으로 3차 실험구간 중에서 가장 높은 수치를 나타내고 있다.

한편 노원교-수락지하차도 구간은 구간길이 1.05km이며, 서울시 도시고속도로 교통관리센터 자료에 따르면 2013년 한 해 동안 8건의 돌발상황 발생이 있었으며, 3차 실험구간 내에서 가장 적은 8건의 발생이 관측되었다. 이를 km 당 환산 건수로 집계해보면 월계1교~녹천교 구간은 km당 76건, 노원교~수락지하차도 구간에서는 km당 7.6건으로 약 10배 가량 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이에 3차 실험을 통해서 두 구간의 측정된 안전대리변수들을 분석함으로써 해당구간의 안전도 특성을 살펴보고자 하였다.

〈표 3-3〉 동부간선도로 3차실험구간 상행(의정부)방향 돌발건수 (2013)

구간명	구간길이 (km)	돌발건수 (건)	km당 돌발건수
중랑교-월릉JC	3.3	46	13.9
월릉JC-월계1교	2.03	70	34.5
월계1교-녹천교	1.64	123	75
녹천교-창동교	0.87	39	44.7
창동교-상계교	1.99	9	9.1
상계교-노원교	1.95	10	5.1
노원교-수락지하차도	1.05	8	7.6

### 3.2.4. 4차 실험

본 연구의 분석 범위는 우리나라의 고속도로 구간 중 통행시간 변동성이 크게 나타나고 있는 영동고속도로의 북수원IC~군포IC구간을 분석대상 구간으로 선정하였다. 2009년부터 2013년까지 5년 간 한국도로공사 사고자료를 활용하여, 구간 길이 대비 사고 발생건수를 종합하여 사고다발구간을 선정하였다. 선정된 사고다발구간은 북수원IC-부곡IC 구간으로 구간 연장 2.84km에 5년 간 구간 내 사고 발생 건수가 112건으로 1km당 39.4건의 사고가 발생한 것으로 나타난다. 이와 유사한 주행조건(차로 폭 및 차로 수)을 가진 동일 노선을 대상으로 대조 분석구간을 선정하였다. 선정된 대조 구간은 동일 노선의 동군포IC-군포IC 구간으로 구간 연장 1.39km에 5년 간 구간 내 사고 발생 건수가 27건으로 1km당 19.4건의 사고가 발생한 것으로 나타났다. 2013년 도

로교통량 통계연보에 따르면, 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC의 AADT는 124,487대/일이며, 대조구간인 동군포IC-군포IC의 123,860대/일으로 비슷한 규모의 교통량을 처리하고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 3-9] 영동고속도로 분석대상구간

조사의 시간적 범위는 외부의 환경적 요소가 최소한으로 개입되는 분석대상구간의 가장 일반적이고 평균적인 특성을 반영되어야 한다. 그러므로 해당구간의 첨두시간대가 아닌 시간적 범위의 선정이 필요하다고 보았다. 분석대상시점을 선정함에 있어 외부적 요인을 최대한 배제하고자 출퇴근 첨두시인(06시-10시, 18시-20시)을 분석대상에서 제외하였다.

한편 대다수의 주행이 발생하는 일반적인 특성을 지닌 시간대를 분석하기 위해, 소통이 원활한 심야시간(23~06시)을 분석에서 제외하였다. 제외된 시간대 가운데서 시간대 별 사고발생건수 분석을 두 구간 별로 수행하여, 사고다발구간과 대조구간 간의 비교가 가능한 시간대를 (15시-18시)로 선정하였다. 해당 시간대에서는 두 구간의 1km 당 사고 발생 건수가 동군포IC-군포IC는 1.39km 당 3건이 발생하고 있으며, 북수원IC-부곡IC는 2.84km 당 24건으로 두 값은 약 4배 가량의 차이가 발생하고 있다.

<표 3-4> 동군포IC-군포IC 15시-18시 시간대 별 5년간 사고건수

	24.4km	24.5km	25.8km	합계
15시		1	1	2
16시				-
17시				-
18시	1			1
합계	1	1	1	3

자료) 한국도로공사 고속도로 교통사고 속보자료, 2014

<표 3-5> 북수원IC-부곡IC 15시-18시 시간대 별 5년간 사고건수

	28.0	28.2	28.3	30.0	30.3	30.6	30.8	합계
15시	3	2	1				3	9
16시	3					1	5	9
17시				1	1		2	4
18시							2	2
합계	6	2	1	1	1	1	12	24

자료) 한국도로공사 고속도로 교통사고 속보자료, 2014

<표 3-6> 실험 수행 공간적 시간적 범위

단계	구간	날짜	시간
1차	내부순환로 연희IC~홍제IC	2014. 05. 16 (금)	08:00-12:30
2차	경부고속도로 서초IC~양재IC	2014. 05. 27 (화)	12:00-15:00
3차	동부간선도로 중랑교~수락지하차도	2014. 07. 25 (금)	12:00-18:00
4차	영동고속도로 북수원IC~부곡IC, 동군포IC~군포IC	2014. 12. 23 (화)	15:00-19:00

### 3.3. RTK-DGPS 활용 실험 수행

앞서 설정한 분석의 공간적 범위와 시간적 범위를 바탕으로 RTK-DGPS를 장착하여 현장실험을 수행하였다.

#### 3.3.1. 1차 실험

본 측정방법론을 이용하여 연희IC~홍제IC 까지 주행 중에는 내부순환로 전 구간은 고가 구간으로 이루어져 있었기 때문에 위성수신환경이 비교적 양호 하였으나, 주변으로 고층건물이 가까이 위치한 지역에서도 RTK 수신상태가 유지되고 있었으나, 측정 간에 전파왜곡현상이나 일시적 끊김현상이 발생할 수 있다는 점을 유의하여야 한다. 분석대상구간을 벗어난 지역에서는 일부 고가 아래에서 주행한 구간이 있는데, 이러한 구간에서는 GPS 수신 자료의 왜곡이 발생하기도 하였다. 그러므로 GPS를 이용한 차량계적자료를 구득하기 위하여 주의할 점으로는 지하차도나 고가 아래를 주행하는 구간을 최대한 배제하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

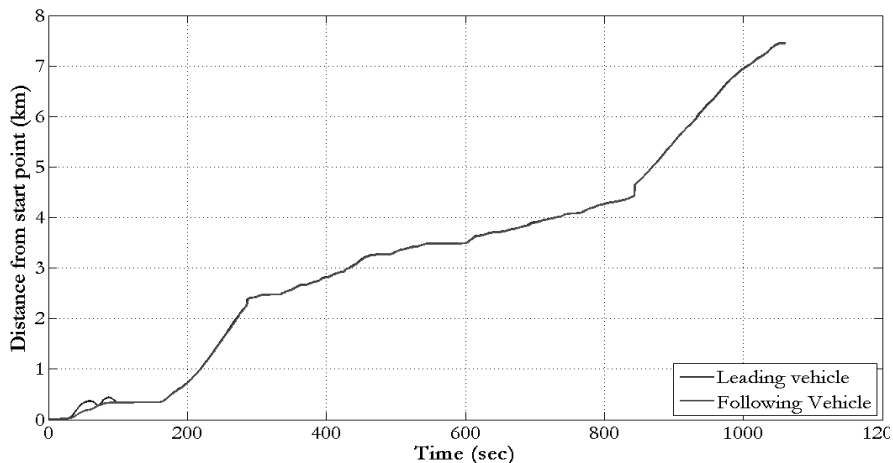
#### 3.3.2. 2차 실험

앞서 설정한 분석 대상인 경부고속도로 서초IC~양재IC 구간을 대상으로 RTK-DGPS를 장착하여 현장실험을 수행하였다. 실험은 차량 2대에 3.1절에서 제시한 [그림 3-4]와 같이 RTK-DGPS를 장착하여, 2014년 5월 27일 화요일 12시부터 15시까지 분석대상구간인 경부고속도로 서초IC~양재IC 양방향을 반복적으로 주행하였다. 두 실험차량간



의 car-following 상태를 유지하여 서초IC에서 양재IC까지 주행한 다음 진출하여, 다시 방향을 바꾸어 진입하여 서초IC까지 주행하였다. 실험선두차량은 해당차량의 전방에 있는 다른 차량을 따라서 주행하도록 하였으며, 다른 실험차량은 선두차량을 뒤따르는 방식으로 실험을 실시하였다.

실제 주행상황을 그대로 관찰 및 반영하기 위해서 차량에는 RTK-DGPS 장비 이외에 외부에서 인식할 수 있는 어떠한 장치도 장착하지 않았으며, 실험 중에 두 실험 차량 간에 일반차량이 끼어들어 car-following 상태를 유지할 수 없는 상황이 발생한 경우 분석에서 제외하였다. 그리하여 최종적으로 분석된 시간은 전체 12:00~15:00 시간구간 중에서 일부인 13:40부터 14:15까지의 25분만이 연속적으로 car-following 상태가 유지되어 본 연구에서 분석되었다.



[그림 3-10] 2차 실험차량 주행 시공도 (13:40-14:15, 25분간)

<표 3-7> 2차 실험 개요

분류	값
시간	2014. 05. 27 (Tue) 12:00-15:00 실제분석대상시간 13:40-14:15 (25분)
조시지역	경부고속도로 서초 IC ~ 양재 IC
실험차량	준중형 승용차 2대 (현대 아반떼, 2014년식)
조사장비	RTK-DGPS
자료수집시격	0.1s

### 3.3.3. 3차 실험

동부간선도로 본 연구에서는 상기 구간에서 실험차량들을 주변 차량과 유사한 속도로 주행함과 동시에 실험차량 간 차량추종상태(Car-following)를 유지하여, 안전대리변수를 측정하는 실험을 진행하였다. TTC, DRAC의 경우에는 두 차량 간의 관계가 rear-end 상황일 때에만 산출된다는 점에서 두 실험차량은 지속적으로 서로의 전방 및 후미에 위치하여야 하므로, 안전대리변수를 측정하기 위해서는 실험차량 간 차량추종상태를 유지하여 주행하는 것이 필요하였다.

본 실험에서는 실험 자료의 안정적인 수집을 위하여 총 2회 왕복주행을 실시하였다. 실험이 진행되는 동안 소통이 원활하게 진행되었던 구간과 정체현상이 발생한 구간이 상존하였다. 본 실험이 진행되는 동안 상행(의정부) 방향이 하행(성수) 방향보다 비교적 원활한 흐름을 보

였다. 2회 간의 주행 동안 1차 주행 시 상행 방향으로 소요시간이 14분, 하행 방향으로 33분이 소요되었다. 한편 2차 주행 시에는 상행 17분, 하행 25분이 소요되었다. 하행 방향으로 작업구간이 있어 정체 현상이 이어져, 외부적 요인이 개입되지 않은 상행 방향의 주행궤적에 대하여만 분석 하였다.

<표 3-8> 3차 실험 개요

분류	값
시간	2014. 07. 25 (금) 15:00-18:00
조사지역	동부간선도로 (중랑교~수락지하차도)
실험차량	준중형 승용차 2대 (현대 아반떼, 2014년식)
조사장비	RTK-DGPS
자료수집시격	0.1s

### 3.3.4. 4차 실험

본 절에서는 분석방법론을 이용하여, 실제 영동고속도로 북수원IC-군포IC 구간에서 수행한 실험 결과를 수록하였다. 분석에 사용된 시간적 범위는 2014년 12월 23일 15시 40분부터 동일 18시 40분까지의 약 180분간 이다. 실험차량은 고속도로 본선 구간에서 2차로로만 주행하였으며, 이러한 주행 궤적은 RTK-DGPS으로 측정된 궤적정보에서도 정확히 반영되어 나타난다. 분석에 사용된 차량 궤적은 앞서 언급된 바와 같이 두 차량 사이에 다른 차량의 개입이 없는 왕복주행만을 사

용하여 분석하였다. 다른 차량이 개입된 경우에는 분석하고자 하는 안전대리변수를 제대로 구할 수 없기 때문이다. 또한 충분한 자료의 확보를 위하여 분석 대상시간 범위에 앞서서 자료를 측정하였다.

두 실험차량은 연속류 도로인 영동고속도로 북수원TG를 통과하여 북수원IC 구간에 진입 후, 실험차량간의 car-following 상태를 유지하고, 실험차량의 선두차량은 주행구간 3차로 중 주행차로인 2차로에서 주행 중인 다른 차량과 평소와 같이 주행한다. 북수원IC를 통해 영동고속도로에 진입하여 부곡IC까지 주행한 다음, 같은 시간대에 대조군인 동군포IC-군포IC 구간을 주행하기 위하여 계속 진행하여 동군포IC를 통과하여 군포IC 까지 주행하였다. 군포IC에서 고속도로를 빠져나와 시가지에서 차량을 돌려 다시 군포IC를 통해 영동고속도로에 진입하고, 반대방향으로 동군포IC를 거쳐, 북수원IC 까지 강릉방향으로 진행한 다음 북수원IC에서 고속도로를 빠져나가 의왕방향으로 진출하여 차량을 돌려 북수원IC를 통해 영동고속도로로 진입하는 방식으로 실험을 진행하였다.

실제 측정시간은 15시 40분부터 18시 40분까지 총 3시간으로 측정시간 동안 전술한 방법론을 4회 왕복 실시하여, 인천방향으로 4회, 강릉방향으로 4회 주행하였다. 인천방향 주행 시 하류부로부터 올라온 원인불명의 정체 여파로 주행속도가 낮았으며, 실제 VDS 검지기 자료에서도 이러한 현상이 확인되었다.

<표 3-9> 인천방향 세부 통과시간

	사고다발구간 (북수원IC-부곡IC)	소요시간	대조구간 (동군포IC-군포IC)	소요시간
1회차	15:53-15:56	3분	15:58-16:03	5분
2회차	16:22-16:25	3분	16:26-16:29	3분
3회차	17:30-17:32	2분	17:54-17:57	3분
4회차	18:06-18:18	12분	18:22-18:26	4분

<표 3-10> 강릉방향 세부 통과시간

	사고다발구간 (북수원IC-부곡IC)	소요시간	대조구간 (동군포IC-군포IC)	소요시간
1회차	16:11-16:16	5분	16:08-16:10	2분
2회차	16:37-16:41	4분	16:33-16:35	2분
3회차	18:01-18:04	3분	17:50-17:53	3분
4회차	18:34-18:41	7분	18:30-18:32	2분

실험 수행 중 발생한 교통상황을 확인하고, 분석의 편의를 위하여 실험 주행 전 구간에 대하여 선두차량과 후행차량 모두 차량 내에 영상녹화장치를 장착하여 모든 주행상황을 녹화하였다.



[그림 3-11] 실험 주행 중 촬영 영상

<표 3-11> 4차 조사 요약

분류	설명
조사시간	2014.12.23.(화) 15:00-19:00 (자료수집기간 : 15:40-18:40)
조사지역	영동고속도로 북수원IC-부곡IC, 동군포IC-군포IC
조사차량	준 중형 승용차 2대 (현대자동차 아반떼, 2014년형)
조사장비	RTK-DGPS
자료수집간격	0.1초 (10Hz)

### 3.4 수집 자료 처리

실험 간 차량의 거동정보를 RTK-DGPS 수신기를 통해서 10Hz (1초당 10회 수신) 단위로 자료를 수신한다. 즉, 0.1초 당 1번씩 수신된 차량의 위치정보와 속도정보를 저장한다. 저장된 정보를 분석을 위해 데이터 파일을 컴퓨터를 통해서 database(DB)를 작성한다.

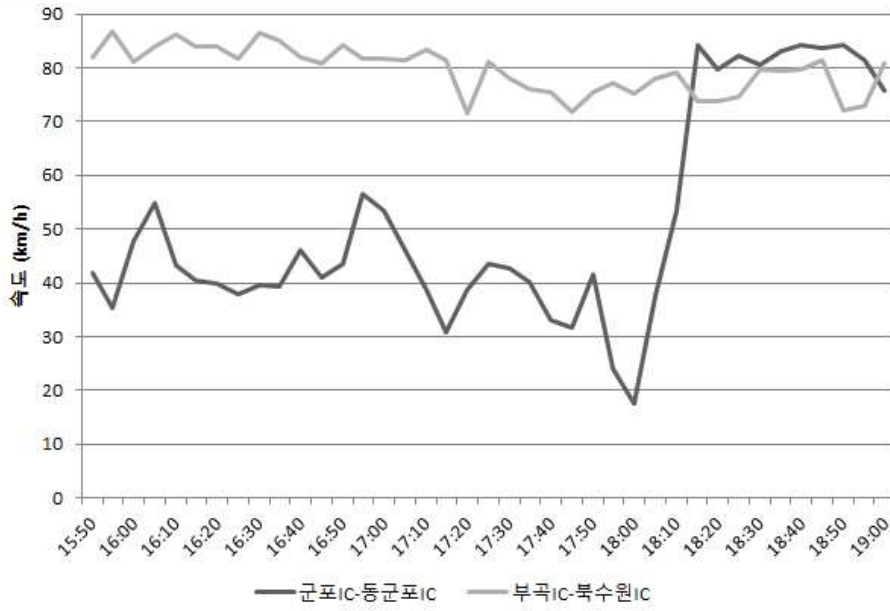
#### 3.4.1 자료의 일관성 확인

RTK-DGPS로 측정된 차량궤적자료의 일관성을 확인하기 위해서 수신된 자료를 Google Maps API를 이용하여 3D지도 위에 표시하였다. 이를 통해 실제 주행경로와 수집된 GPS 정보간의 차이가 있는지를 확인 할 수 있다. 특히 실험 차량이 주행했던 차로와 추적된 궤적자료와의 비교하여 위치정보의 일관성을 확인한다.

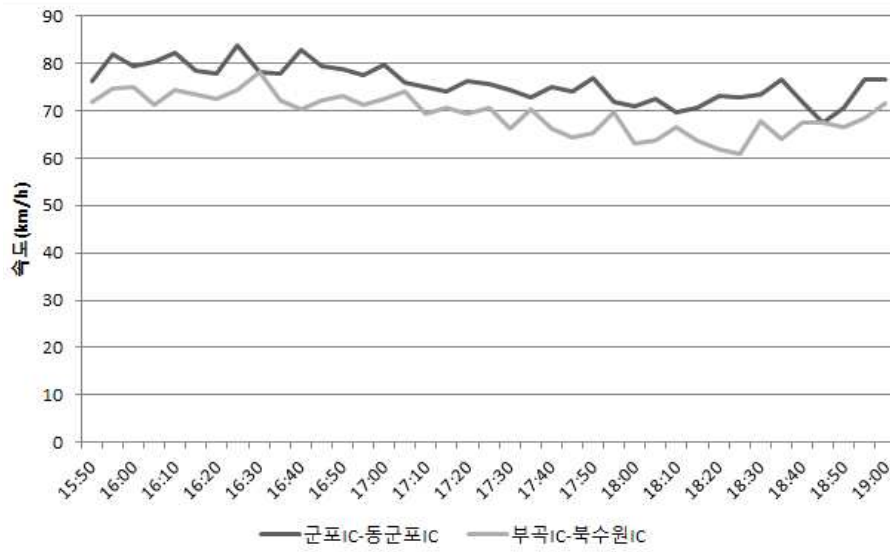


[그림 3-12] 실험 주행경로와 궤적자료의 위치정보 일관성 확인

또한 주행한 시간대의 사용 가능한 운영자료를 활용하여, 실제 주행 속도와 VDS 등을 통해 얻어진 속도와의 비교 등을 통해 속도정보의 일관성을 확인한다. 본 연구 중에서 VDS 운영자료의 경우 4차 실험인 영동고속도로 주행 구간에서만 구득이 가능하였다.



[그림 3-13] 인천방향 5분 집계 VDS 속도자료

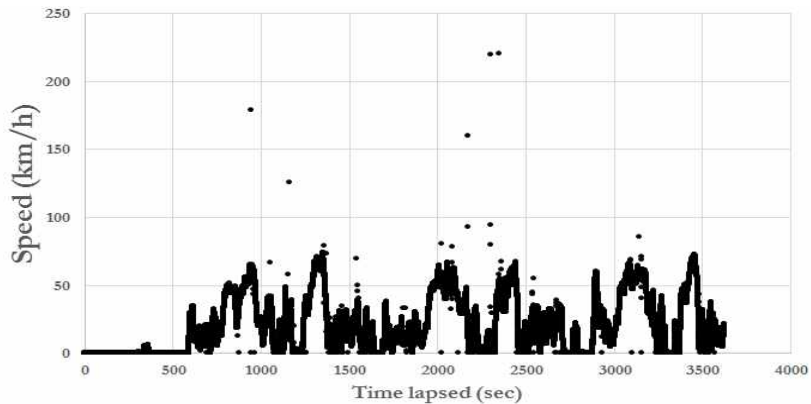


[그림 3-14] 강릉방향 5분 집계 VDS 속도자료



### 3.4.2 속도 자료의 Data Cleaning 기법

자료의 일관성을 확인한 다음, 안전대리변수를 계산하기 전에, 측정된 정보의 오류여부를 확인하여야 한다. 특히 속도 정보는 GPS 위성 전파의 간섭현상으로 인해 이상치가 존재할 수 있다. 아래의 [그림 3-11]에서 확인할 수 있는 바와 같이 속도의 경향과 다른 이상치가 존재했다.



[그림 3-15] 실험차량의 속도 이상치

이상치를 제거하기 위해 단위관측시간(0.1초) 앞 뒤 자료의 속도를 각각 비교하여 현실적으로 불가능한 가속 및 감속 상황이 나타나는 자료를 필터링 하였다. 특히 실험차량은 일반적인 차량으로서, 동일차량으로 주행실험 시 일상적으로 주행할 수 있는 속도대역인 0km/h에서 60km/h 까지 가속하는 데에는 5.0초 (평균가속도  $3.3\text{m/s}^2$ )가, 0km/h에서 100km/h에 이르는데 12초 (평균가속도  $2.4\text{m/s}^2$ )가, 이어서 100km/h에서 다시 0km/h로 감속하는데 까지 총 36초 (평균감속도  $1.16\text{m/s}^2$ )가 소요되었다. 그러나 실험을 통해 관측되는 값은 0.1초 단위의 순간가속

및 순간감속이므로 평균가감속과는 차이가 있다. 이를 감안하여, 속도 변화의 범위를  $-10 \leq a \leq 10(m/s^2)$  이내로 설정하였다. 이어서 속도 자료를 확인하여, 설정된 기준을 벗어난 자료를 해당 자료의 0.1초 이전 속도와 해당 자료의 0.1초 이후의 자료로 보간한 값을 사용한다.

### 3.5 RTK-DGPS 궤적자료를 이용한 안전대리변수 계산

앞서 제시한 바와 같이 이상치를 제거한 자료를 이용하여, 선두 차량과 추종차량들의 주행궤적을 반영한 안전대리변수(TTC, DRAC, AN)을 계산하여 주행구간에 따른 측정시간별, 위치별 안전대리변수 값을 산출한다.

산출된 안전대리변수가 합리적으로 도로위의 상황을 묘사하고 있는지를 실제 현장에 적용함으로써 검토한다.

#### 3.5.1 Time-to-Collision (TTC)

$$TTC = \frac{|(x_l - x_f) - L|}{|v_l - v_f|} \quad (1)$$

$x_l$  : 선두차량의 차두 위치

$x_f$  : 후위차량의 차두 위치

$v_l$  : 선두차량의 속도

$v_f$  : 후위차량의 속도

$L$  : 선두차량의 길이

TTC를 구하기 위해서는 식(1)과 같이, 두 차량 간의 distance gap을 구하여야 한다. 이를 위해서 두 차량의 같은 위치에 장착한 RTK-DGPS 수신기의 위치좌표 간 최단거리를 유클리디안 거리로 가정하여 두 차량 간 차두거리, 즉  $(x_l - x_f)$ 를 구한다. 한편 실험에 사용된 차량은 2014년형 아반떼 차량으로 제조사 매뉴얼 (2014)에 따라 차량길이(L)는 4550mm를 적용한다. 선행차량과 후행차량의 속도 차이를 계산하여, 후행차량이 선행차량보다 빠를 경우에는 TTC를 주어진 공식에 따라 계산하고, 반대의 경우에는 분석하지 않는다.

### 3.5.2 Deceleration Rate to Avoid Collision (DRAC)

$$DRAC = \frac{(v_f - v_l)^2}{2 \times [(x_l - x_f) - L]} \quad (2)$$

- $v_i$ :                                    i 번째 차량의 속도
- $x_i$ :                                    i 번째 차량의 차두위치 (m)
- $L$ :                                      선두차량의 길이

문헌검토에서 제시한 바와 같이 Almquist et al.(1991)이 제시한 식 (2)는 선행 및 추종차량의 위치와 속도정보와 차량의 길이를 변수로 두고 있으므로, TTC를 산출하기 위해 입력된 자료를 그대로 활용할 수 있다. 두 차량 간의 매 0.1초 간격으로 입력된 Distance Gap과 두 차량의 속도 정보를 사용하여 DRAC을 식(2)을 이용하여 연산한다.

### 3.5.3 Acceleration Noise (AN)

$$\sigma = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \text{ or } \sigma = \left[ \frac{\Delta t}{T} \sum a^2(t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$\sigma$ :	가속소음 (m/s <sup>2</sup> )
$T$ :	총 통행시간 (sec)
$a(t)$ :	t 순간의 가속도 (m/s <sup>2</sup> )

가속소음(AN)을 해당지점의 사고 위험성을 나타내는 안전대리변수로 사용하기 위해서는 가속소음의 분석 window의 크기가 결정되어야 한다. 여기서 분석 window가 커질수록 지표가 계산되는데 반영되는 공간적 범위가 넓어진다는 문제점이 발생한다. 만약 차량이 100km/h 로 주행하고 있다고 가정할 때, 분석 window를 1분이라고 가정한다면, 0.1초 단위 자료의 위험성 지표를 계산하기 위해서 약 1,800m가 반영된다. 이는 상당히 큰 값이므로, 분석 window가 작아져야 한다.

한편, 분석 window가 작아질수록 지표는 민감하게 변동하게 된다. 차량의 거동 시 가속 및 정지에 운전자의 인지반응시간이 반영된다는 점에서 착안하여, 그동안의 교통공학 분석에서 자주 이용되어온 인지반응시간인 2.5초를 가속소음의 분석 Window로 삼아, 해당 시점 이전의 2.5초간의 가속정보를 반영하는 가속소음을 계산하였다.

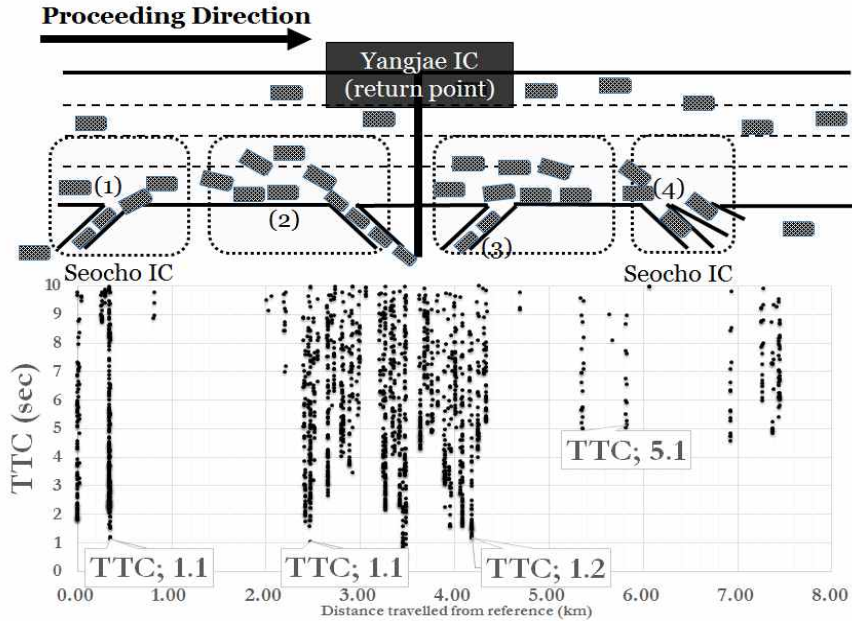
## 제 4장 분석 결과

앞서 기술한 바와 같이 본 연구의 실험은 총 4회에 걸쳐서 실행되었다. 1차 실험의 수행결과를 통해서 본 연구에서 수행하고자 하였던 두 차량간의 주행궤적을 이용한 안전대리변수의 산출이 성공적으로 수행되는 지를 확인할 수 있었다. 이를 통하여 본 연구에서 제시하는 안전대리변수 측정방법을 지속적으로 활용할 수 있다고 판단하였다. 그러나 1차 실험의 수행 결과는 분석대상으로 삼았던 내부순환로의 본선부에서의 안전대리변수 측정값이 전 구간에서 선정된 안전대리변수 임계값에 미치지 않아 도로구간의 위험도를 측정하고 이를 비교하고자 하는 목표를 달성하는 데에 부족함이 있다고 판단하고 추가적인 실험을 계획하고 수행하였다.

### 4.1. 경부고속도로 분석 실험 (2차)

경부고속도로의 서초IC~양재IC 구간에서 수행한 2차 실험을 통해서 는 각 시점 및 지점에서의 안전대리변수의 측정값을 얻을 수 있었음과 동시에 실제 도로 주행상황에서 발생한 엇갈림 현상 발생 구간 및 대기행렬에서의 stop-and-go 구간 그리고 spilt-back 현상이 발생하는 구간에서의 안전대리변수 값의 변동을 확인할 수 있었다.

### 4.1.1 TTC 측정 결과



[그림 4-1] 2차 실험 구간에서의 TTC 측정결과

(1)지역에서의 최소 TTC는 1.1초로 van der Horst and Hogema(1993), Sayed et al.(1994) 연구 등에서 임계값으로 사용되고 있는 4.0초보다 매우 작은 수준으로 본선으로의 합류상황에서의 위험을 잘 설명한다. 이는 합류가 발생하는 과정에서 발생하는 운전자의 반응이 나타나고 있는 것으로 볼 수 있다. 특히 합류지점을 지난 이후는 급격히 안전함을 나타내는 수치로 회복되고 있음을 확인할 수 있다.

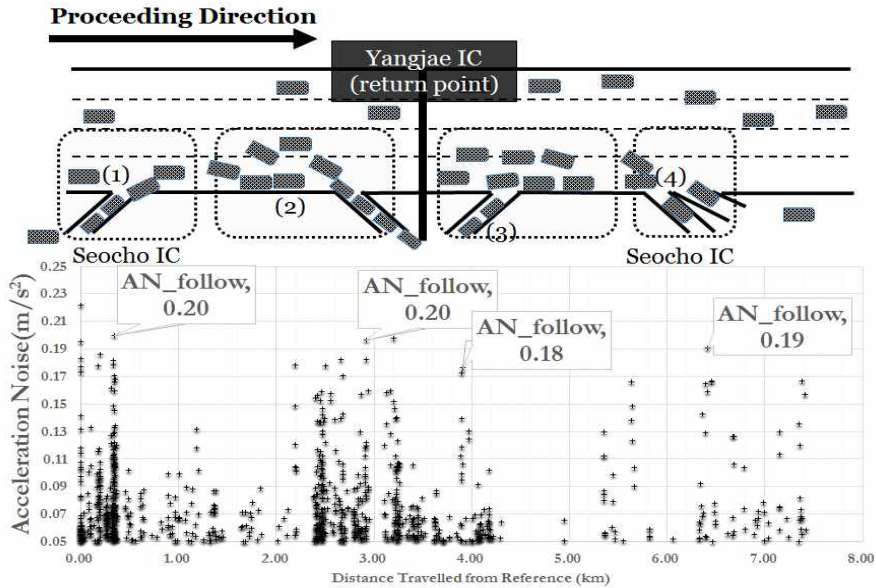
대기행렬 역류 구간을 전후로 하여, (2)지역에서는 많은 요동이 발생하고 있으며, 이러한 요동들은 가다서다 현상이 TTC 지표의 수치변화와 비슷한 경향성을 띄고 있을 것으로 추정된다. 이 구간에서도 임계

치인 4초 미만의 값을 나타내는 지점들이 다수 관찰된다. 최소값은 1.1초로 나타났고 이후 지속적으로 4초 미만 지점이 분포하고 있다.

반환점을 돌고 다시 본선으로 합류하는 (3)지역에서는 본선 속도에 관계없이 합류-1에서 양상과 동일하게 임계값인 4초미만으로 분포하고 있는 지점이 넓게 분포한다. 이 구간에서의 TTC 최소값은 1.2초였다. 연결로에서 본선으로의 합류 이후에도 지속적으로 낮은 TTC 값이 관찰된다. 이는 본선에서의 주행속도가 낮고 가다 서다를 반복하고 있어서 나타나는 것으로 판단된다. 이후 stop-and-go 현상이 끝나 정상적인 주행상황으로 전환되고 있다.

엇갈림구간이 발생하는 (4)지역에서는 다른 지점과 비교할 때 상대적으로 낮은 연속구간이 존재한다. 그러나 앞서 사용해온 기준인 4.0초보다 큰 값이 분포한다. 이는 TTC는 두 차량의 수평방향 운동에 대한 자료를 이용하여 만들어진 지표이기 때문에, 수직방향의 운동성이 작용하는 엇갈림현상의 위험성을 온전히 반영하고 있지 못하고 있음을 보인다.

#### 4.1.2. 가속소음 측정결과



[그림 4-2] 2차 실험 구간에서의 가속소음 측정결과

다른 변수들과 마찬가지로 합류가 발생하는 (1)지역에서 가속소음은  $0.20\text{m/s}^2$ 로 나타나고 있는데, 역시 상대적으로 본선 기본구간에 대비하여 높은 가속소음 값이 분포했다. 하부도로로의 진출을 위해 양재IC에 가까워질수록 가속소음은 상당히 높은 값을 보이고 있는데, 대기행렬 역류현상으로 인하여 끼어들기 차량과 stop-and-go 현상이 발생하는 (2)지역에서 운전자들이 주의를 기울여야했다. 가속소음은 이러한 해당 지역의 특성을 잘 반영하며, 상대적으로 높은 변수값( $0.20\text{m/s}^2$ )을 나타내고 있다.

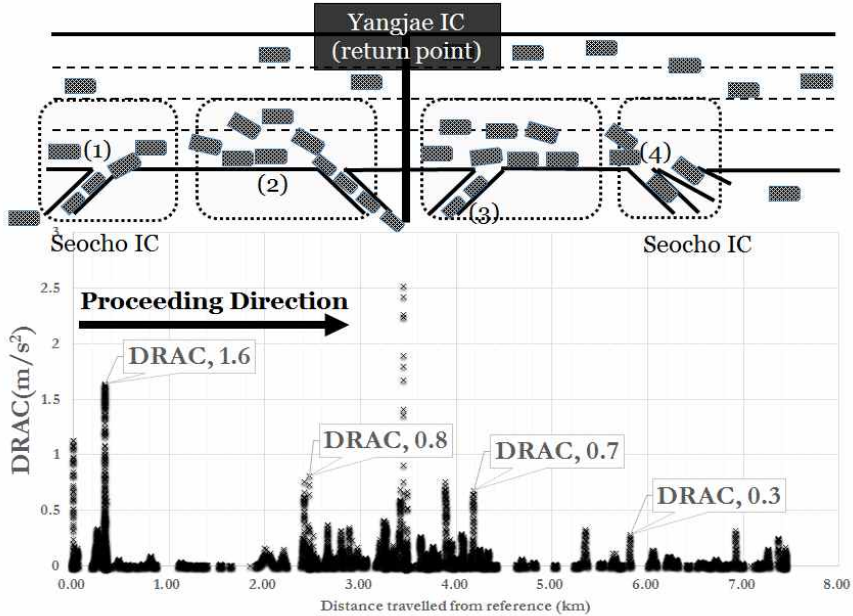
마찬가지로 반환점을 돌아 양재IC 연결로에서 본선부로 합류가 이루



어진 (3)지역에서도 가속소음 값은 높게 형성되어 분포하고 있으며, 최대  $0.18\text{m/s}^2$ 를 나타낸다. 그러나 합류가 이루어지고 난 다음부터는 현저히 낮아져 원활한 소통상태를 보였던 현장상황을 반영하고 있다.

다른 두 변수(TTC, DRAC)와는 달리 엇갈림현상이 발생하는 (4)지역에서 가속소음 값은 다른 위험구간과 비슷한 정도의 위험성을 변수 값을 통해 나타내고 있다. 이는 다른 두 변수가 모두 두 차량의 수평적 운동에 의한 수치인 주행속도를 반영하는 반면에 가속소음은 방향과 관계없이 차량의 움직임이 가속도를 통해 현시되는 것을 계산한 값이므로 이러한 경향을 보이는 것으로 보인다.

### 4.1.3. DRAC 측정결과



[그림 4-3] 2차 실험 구간에서의 DRAC 측정결과

합류가 발생하는 (1)지역의 DRAC는  $1.6\text{m/s}^2$ 으로 앞서 제시된 AASHTO(2004)의  $3.4\text{m/s}^2$ , Archer(2003)의  $3.35\text{m/s}^2$ 과 비교하여 낮은 수준이나, 본선으로의 합류 상황에서 주행속도가 낮으므로, 절대적 크기는 작지만 타 지점들에 비교하여 위험성의 크기를 잘 설명한다.

대기행렬 역류 구간에서 지속적으로 발생하고 있는 가다 서다 (stop-and-go)현상이 발생하는 (2) 지역에서는 역류 및 stop-and-go 현상으로 인해 속도가 높지 않아 큰 차이를 보이고 있지 않으나, TTC 값이 낮고, AN값이 높은 지점에서의 DRAC 값( $0.8\text{m/s}^2$ )도 높아 변수들 간의 일관성이 있다.

다시 합류가 발생하는 (3) 지역에서는 저속 주행상황으로, 감속도 값도 작은 양상을 보인다. 다른 변수와의 비교를 통해 상대적으로 위험성이 높은 지점에서 상대적으로 큰 DRAC 값( $0.7\text{m/s}^2$ )이 산출되고 있다.

엇갈림현상이 발생하는 (4) 지역에도 마찬가지로 분석구간내의 다른 참조점보다 작은 값(최대값  $0.3\text{m/s}^2$ )을 나타내고 있다.

## 4.2. 동부간선도로 분석 결과(3차)

1차 실험 및 2차 실험에서 측정된 안전대리변수들을 분석하는 과정에서 기존 연구에서 변수값의 대소비교를 중점적으로 진행하였다면, 본 연구에서는 구간의 특성을 나타내는 구간의 대푯값을 찾는 것에 집중하였다.

산출된 각 변수값의 분포를 살펴보는 과정에서, 각 변수들의 특성에 기인하여 큰 fluctuation이 발생하고 있음을 관찰할 수 있었다. 특히 TTC의 경우 매우 국소한 조건에서만 산출되는 변수로서 (후방차량이 전방차량보다 속도가 빠를 경우) 두 차량간의 속도차이가 크지 않은 경우 TTC의 값은 무한정 커질 수 있다는 점에서 단순히 TTC의 대소비교를 수행한다는 것이 무의미하다고 판단하였다.

마찬가지로 가속소음(AN) 역시, 2.5초의 분석 Window를 사용하여 0.1초마다 계산된 자료이기 때문에, 각 순간에 반영되고 있는 가속소음은 지속적으로 변동하게 된다. 동일한 순간에 동일 지점에서는 두 값의 대소비교를 통해 안정성을 비교하는 것이 적절하다고 판단할 수도

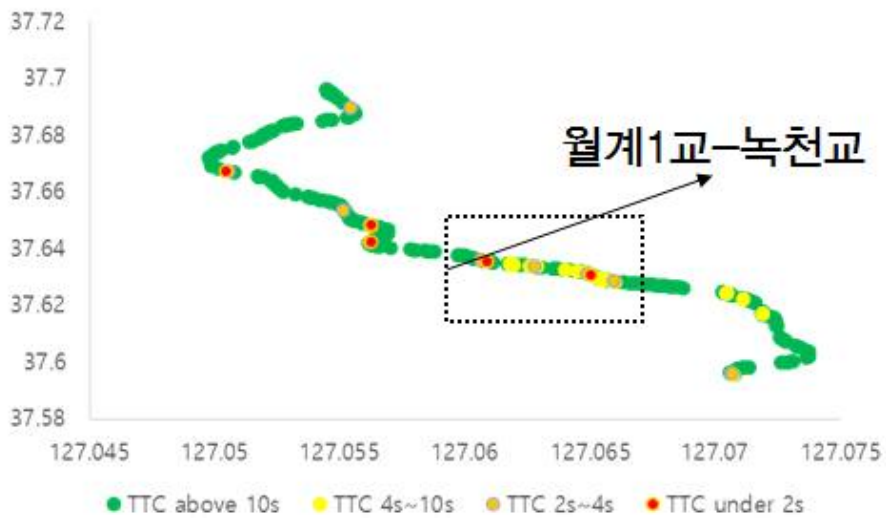
있으나, 구간 내에서의 전체적 특성을 나타내는 데에는 한계가 있을 것으로 판단하였다.

또한 DRAC 값 역시, 각 순간마다 두 차량 간의 상대속도정보가 반영되어야 하므로, TTC와 마찬가지로 후방차량이 전방차량보다 속도가 빠를 때에만 제대로 산출될 수 있다. 매 순간 두 차량의 속도정보가 반영된 DRAC 값이 일정한 형태를 취하는 것이 아니라는 점에서 단순한 순간적인 대소비교 보다는 변수 값의 변동을 살필 수 있는 방법이 필요하다고 판단하였다.

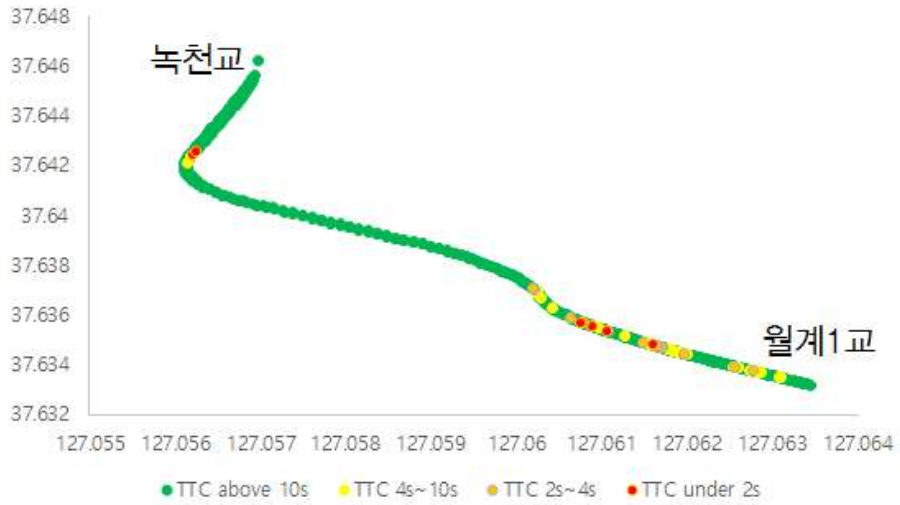
즉, 각 안전대리변수들은 차량거동에 따라 변동하게 되는데, 일부 변수는 특정조건에서 매우 큰 값을 갖거나 반대로 값을 갖지 않는 경우가 있다는 점에서 단순 대소비교는 의미 없다고 판단하였고, 구간 내에서의 각 변수의 변동성이 적을수록 안정적인 주행상태를 보일 가능성이 높다고 판단하였다. 안정적인 주행상태를 보인다면 주행안전도는 높을 것으로 판단하였다. 반대로 짧은 시간간격으로 측정된 본 변수들이 변동성이 높을수록 해당구간에서의 주행상태가 불안할 것이라는 추론이 가능하다. 그러므로 본 연구의 분석에서는 각 변수들의 평균과 표준편차를 구하고 각 구간에서의 변동계수를 사용하여 두 구간의 주행안전도를 판단해 볼 수 있다. 본 장의 4절에서의 종합분석에서는 이러한 부분에 주목하여 실시한 3차 실험과 4차 실험에 대한 분석 결과를 신고자 한다.

#### 4.2.1. TTC 분석 결과

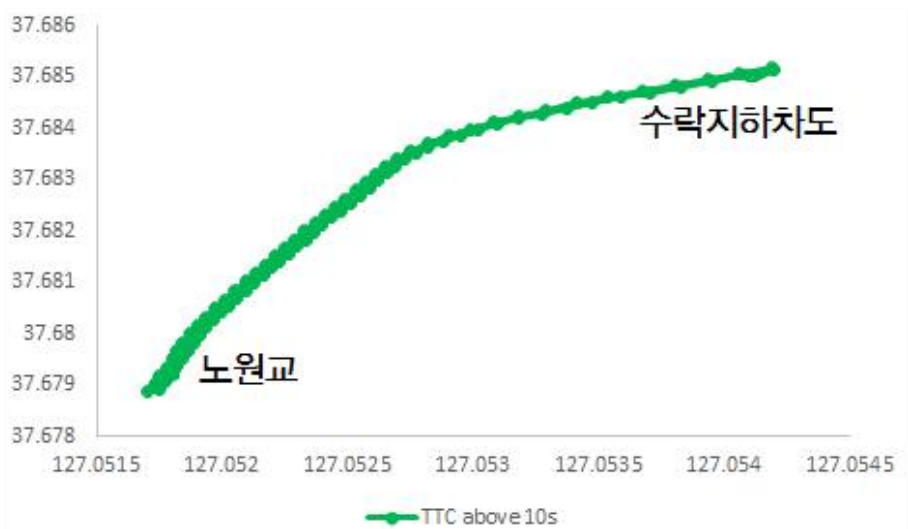
TTC의 경우 증감 추세가 유사한 것을 확인할 수 있으며, 특히 월계 1교 주변과 녹천교 주변에서 진출입을 위한 분합류가 발생하는 지점에서 두 변수의 변동을 확인할 수 있다. 월계 1교에서 녹천교 방향으로 진행할 때, TTC 2초 미만의 지점이 다수 관측되고 있으며, 노원교~수락지하차도 구간에서는 TTC 10초 이하의 지점에 한차례도 나타나지 않았다.



[그림 4-4] 3차 실험 구간 TTC 측정 결과



[그림 4-5] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 TTC 측정결과



[그림 4-6] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 TTC 측정결과

〈표 4-1〉 3차 실험 분석 구간 별 TTC 통계량

	월계1교~녹천교	노원교~수락지하차도
평균 (초)	58.56	48.04
표준편차 (초)	145.25	328.64
변동계수	2.48	6.84

두 구간의 TTC 통계량의 대소관계를 이용한 비교를 수행하는데 있어서 제약사항이 존재한다. TTC의 변수 특성을 살펴보면, 4장 초입부에 언급한바와 같이 두 차량 간의 속도차이가 크지 않을 경우에, 무한대의 값에 수렴할 수 있다는 점에서 단순한 크기비교로 해당구간의 특성을 파악하기는 어려울 것으로 판단된다. 월계1교~녹천교 구간이 km 당 돌발상황 건수가 노원교~수락지하차도 구간에 비해 10배 더 큰 수치를 나타내고 있으나, 월계1교~녹천교 구간의 TTC 평균값은 대조구간 대비 큰 값을 나타내고 있다. 그러나 TTC의 임계값 미만 관측시간 비율을 이용하여 두 구간에서의 주행안전도를 판단할 수 있다.

〈표 4-2〉 3차 실험 구간 임계값 미만 관측시간 비율 (TTC)

TTC 범위	월계1교~녹천교	노원교~수락지하차도	비고
0초 - 1.5초	1.2%	해당범위 관측값 없음	van der Horst (1991)
0초 - 3.0초	3.1%		Hirst and Graham (1997)
0초 - 4.0초	5.5%		van der Horst (1993)
0초 - 6.0초	8.2%		Vogel (2003)

분석대상구간에서의 TTC는 대체적으로 10초 이상의 값을 보이고 있다. van der Horst et al.(1991)이 제시 하였던 임계값 1.5초 미만에 해당하는 지점들은 전체 관측시간 중에서 약 1.2% 가량 발생하고 있고, TTC의 분포의 변동이 발생하는 지점은 회전이 발생하는 변곡점에서와 진입, 진출에 의한 합류 및 분류가 발생하는 지점에서 경향을 보이고 있다. 그러나 노원교~수락지하차도 구간에서는 원활한 주행상태와 더불어 TTC에 의한 상충은 관측되지 않았다.

Hirst and Graham (1997)이 제시한 임계값인 3.0초를 적용하였을 경우, 임계값 이하의 값을 보이는 시간은 사고다발구간인 월계1교~녹천교 구간에서는 해당구간 관측시간의 약 3.1%만이 임계치 미만에 해당하는 거동을 한 것으로 나타났다. 반면 대조구간인 노원교~수락지하차도 구간에서는 임계값 미만의 값이 나타나지 않은 것으로 나타났다.

분석을 확장하여 van der Horst (1993)이 제시한 적정임계값 4.0초를 적용할 경우 월계1교~녹천교 구간에서는 임계값 미만의 TTC 값이 해당구간 관측시간의 약 5.5%로 나타난다. 같은 방법으로 노원교~수락지하차도 구간에서 적용할 경우에는 임계값 3.0초를 적용했을 경우와 같이 임계값 미만의 값이 나타나지 않았다는 점에서 월계1교~녹천교 구간과 노원교~수락지하차도 구간과의 차이를 알 수 있다. 또한 Vogel (2003)의 분석에서 적용한 임계값 6.0초 미만의 관측비율을 살펴보면 월계1교~녹천교 구간이 8.2%, 대조구간인 노원교~수락지하차도 구간에서는 해당범위의 관측값이 없는 것으로 나타났다.

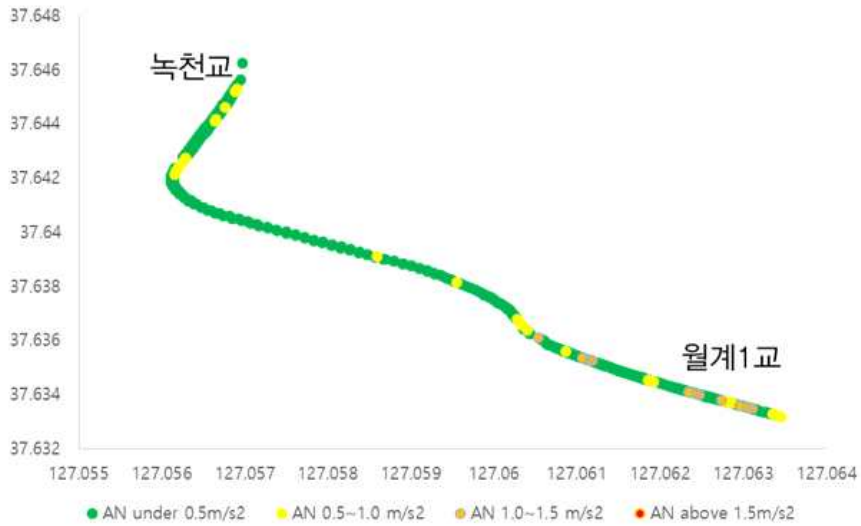


#### 4.2.2. 가속소음 분석 결과

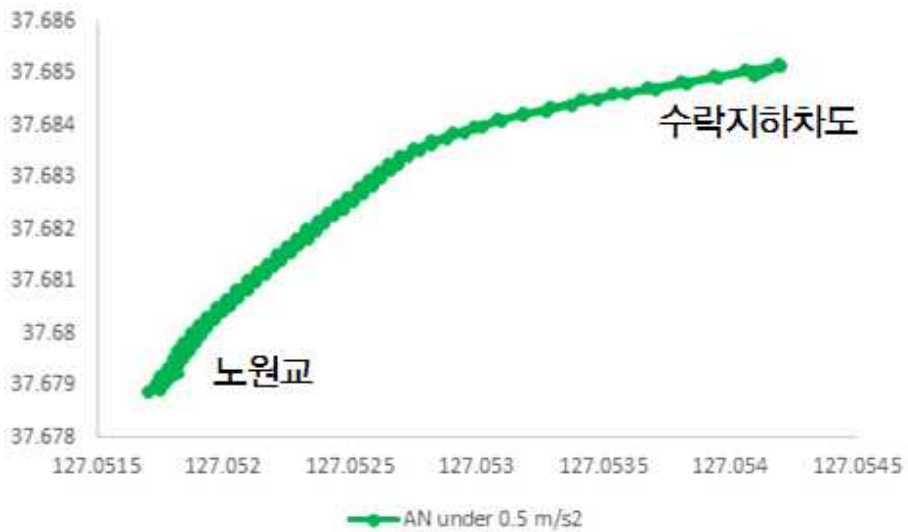
분석구간 내의 가속소음의 분포 역시 대체적으로  $0.5\text{m/s}^2$  미만의 값이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. High-risk 구간인 월계1교-녹천교 구간의 본선부에서 가속소음 값이 변동하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 연결로에서 진입하여 합류하거나, 하부도로로 진출하기 위하여 차로변경을 하는 가운데서 발생한 변동으로 판단된다. 그리하여 측정된 가속소음 분포를 보면, 대부분 IC 주변부에서 가속소음 값이 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 일부 변곡 구간에서 가속소음 값의 증가를 확인할 수 있다. 그러나 노원교~수락지하차도 구간에서는 전구간에서 가속소음 값이  $0.5\text{m/s}^2$  미만의 값을 보이고 있어 가속소음이 대체로 안정적인 분포를 보이고 있음을 판단할 수 있다.

<표 4-3> 전체 분석 구간 별 AN 통계량

구분	월계1교~녹천교	노원교~수락지하차도
평균-선두차량(m/s <sup>2</sup> )	0.311	0.289
평균-후행차량 (m/s <sup>2</sup> )	0.345	0.313
표준편차-선두차량 (m/s <sup>2</sup> )	0.210	0.203
표준편차-후행차량 (m/s <sup>2</sup> )	0.294	0.221
변동계수-선두차량	0.676	0.702
변동계수-후행차량	0.851	0.707



[그림 4-7] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 AN 측정결과



[그림 4-8] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 AN 측정결과

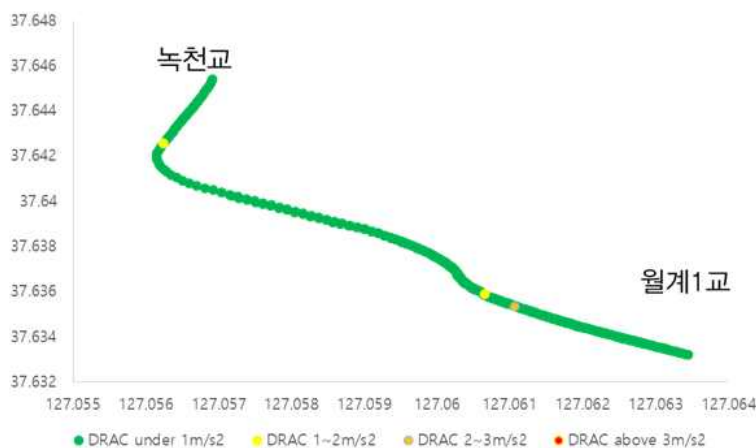
본 조사에서 측정된 가속소음은 각 0.1초 단위마다 운전자의 인지반응시간만큼의 가속소음을 산출한 것으로 이를 통해 각 운전자의 반응

에 관계되는 자극을 가속소음으로서 비교하고자 한다. 월계1교~녹천교 구간에서 비교적 높은 값인  $1.0\text{m/s}^2$  이상의 값을 갖는 지점들이 측정되고 있는 만큼 해당 지점의 경우 운전자에게 자극을 발생시키는 지점 즉, 상충이 발생할 가능성이 높은 지점일 것으로 판단된다.

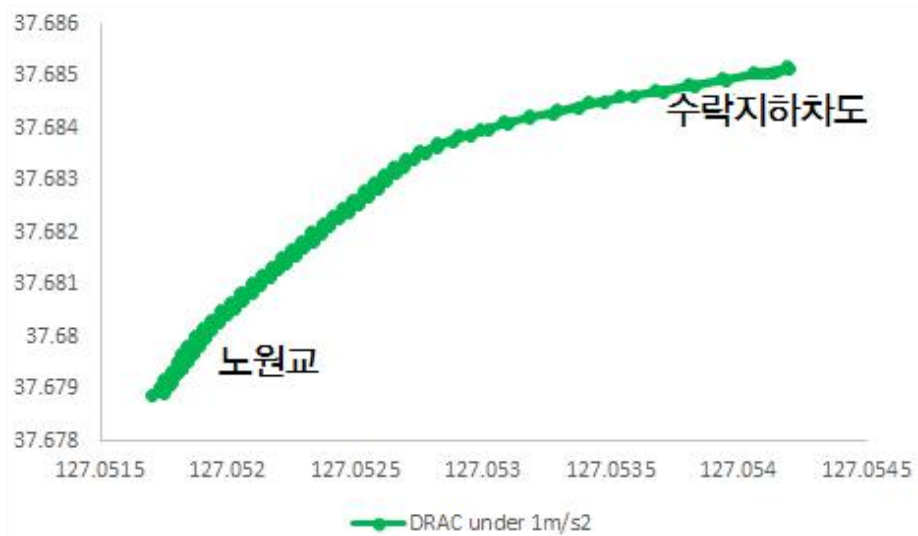
Herman et al. (1959)에서 제시된 해당 차량군의 속도보다 5-10mph 더 빠르게 주행하려는 운전자의 가속소음 분포를 참고하여, 분포의 최대값에 해당하는  $0.07g + 2 \times 0.05g$  에 근사하는  $1.66\text{m/s}^2$ 을 임계값으로 설정하여 분석을 실시해본 결과는 이에 해당하는 값이 나타나지 않았다.

도로주행안전을 위협하는 상충지점들이 분포하는 지역을 찾아낼 수 있다는 점이 본 연구가 채택하고 있는 안전대리변수 분석법의 가장 주요한 목표이며, 본 연구의 방법론을 통해서 안전대리변수를 측정하여 분석대상구간에서의 차량 거동에 대한 면밀한 검토가 가능하다.

#### 4.2.3. DRAC 분석 결과



[그림 4-9] 동부간선도로 월계1교-녹천교 구간 DRAC 측정결과

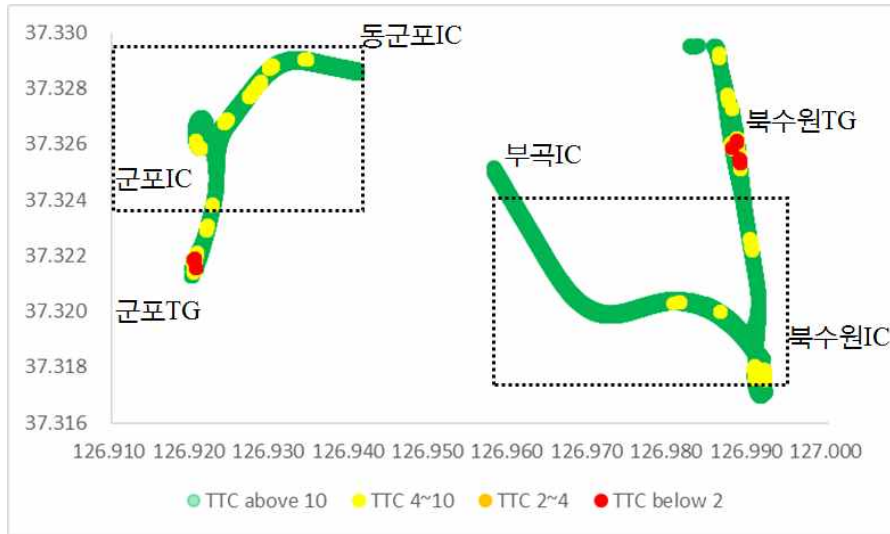


[그림 4-10] 동부간선도로 노원교~수락지하차도 구간 DRAC 측정결과

DRAC의 경우에는 다른 변수와 달리 대부분의 주행구간에서 임계값에 가까운 산출값은 나타나지 않았다. DRAC의 경우 임계값을 AASHTO(2004)와 Cunto(2005)에서  $3.35\text{m/s}^2$ ,  $3.4\text{m/s}^2$  로 설정하고 있는데, 대부분의 지점에서 1미만의 변수값을 보이고 있다는 점에서 DRAC를 이용하여 설명할 수 있는 상충이 적게 일어났음을 의미한다.

## 4.3 영동고속도로 실험(4차)

### 4.3.1 TTC 분석 결과



[그림 4-11] 영동고속도로 분석 대상구간 내 TTC 분포

<표 4-4> 전체 분석 구간 별 TTC 통계량

	복수원IC-부곡IC	동군포IC-군포IC
평균 (초)	166.89	128.98
표준편차 (초)	1011.61	164.61
변동계수	6.06	1.28

분석대상구간에서의 TTC는 대체적으로 10초 이상의 값을 보이고 있다. van der Horst et al.(1993)이 제시 하였던 임계값 4초 미만에 해당하는 지점들은 본선부에서는 거의 발생하지 않고 있고, TTC의 분포의 변동이 발생하는 지점은 회전이 발생하는 변곡점에서 발생하는 경

향을 보이고 있다. 주로 본선의 회전부와 연결로에서 이러한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 동군포IC-군포IC 구간에서는 앞서 주지한 바와 같이 하류부 정체의 여파로 속도 변동이 심한 모습을 보였다. 이로 인하여 TTC의 분포의 변동이 발생하고 있는 모습을 확인할 수 있었다. Hirst and Graham (1997)이 제시한 임계값인 3.0초를 적용하였을 경우, 임계값 이하의 값을 보이는 시간은 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC에서는 8.9초로 해당구간 관측시간의 약 0.5%만이 임계치 미만에 해당하는 거동을 한 것으로 나타났다. 반면 대조구간인 동군포IC-군포IC에서는 임계값 미만의 값이 나타나지 않은 것으로 나타났다.

분석을 확장하여 van der Horst (1993)이 제시한 걱정임계값 4.0초를 적용할 경우 북수원IC-부곡IC에서는 15.2초 간 임계값 미만의 TTC 값이 기록되었으며, 이는 해당구간 관측시간의 약 0.86%로 나타난다. 같은 방법으로 동군포IC-군포IC에서 적용할 경우에는 임계값 3.0초를 적용했을 경우와 같이 임계값 미만의 값이 나타나지 않았다는 점에서 북수원IC-부곡IC구간과 대조구간과의 차이를 보이고 있다.

<표 4-5> 임계값 미만 관측시간 비율 (TTC)

TTC 범위	북수원IC-부곡IC	동군포IC-군포IC	비고
0초 - 1.5초	0.18%	해당범위 관측값 없음	van der Horst (1991)
0초 - 3.0초	0.50%		Hirst and Graham (1997)
0초 - 4.0초	0.86%		van der Horst (1993)
0초 - 6.0초	1.58%		Vogel (2003)

한편 도시부 교차로에서의 TTC 산출을 수행하였던 Vogel (2003)의 연구에 따르면 TTC가 6초 미만일 경우는 전체 접근로에서 0.1-0.3% 수준이며, 특히 2초 미만일 경우는 0.1% 보다 낮은 수준으로 제시되고 있다. 또한 교차로가 아닌 연속류 도로를 분석한 오철 외 (2007)에서 수행한 서해안고속도로에서의 영상분석을 통한 차로별 TTC 3초 미만 발생비율이 0.70%-1.47% 수준이었다. 교외의 2차로도로에서 수행한 Guido et al.(2012)의 연구에서는 임계값을 van der Horst (1991)와 이전 연구에서 제시하였던 교차로에서의 임계값 1.5초 미만으로 설정하고 방향별로 3.66%, 13.12%의 결과값을 제시하고 있다.

<표 4-6> 기존 TTC 사용 문헌에서의 실험비교

구분	실험구간	TTC 임계값
본 연구	고속도로	1.5초, 3.0초, 4.0초, 6.0초
Guido et al. (2012)	2차로도로	1.5초
오철 외 (2007)	고속도로	3.0초
Vogel (2003)	사지교차로	2.0초, 6.0초

<표 4-7> 각 문헌별 관측시간 대비 TTC 임계값 미만 비율

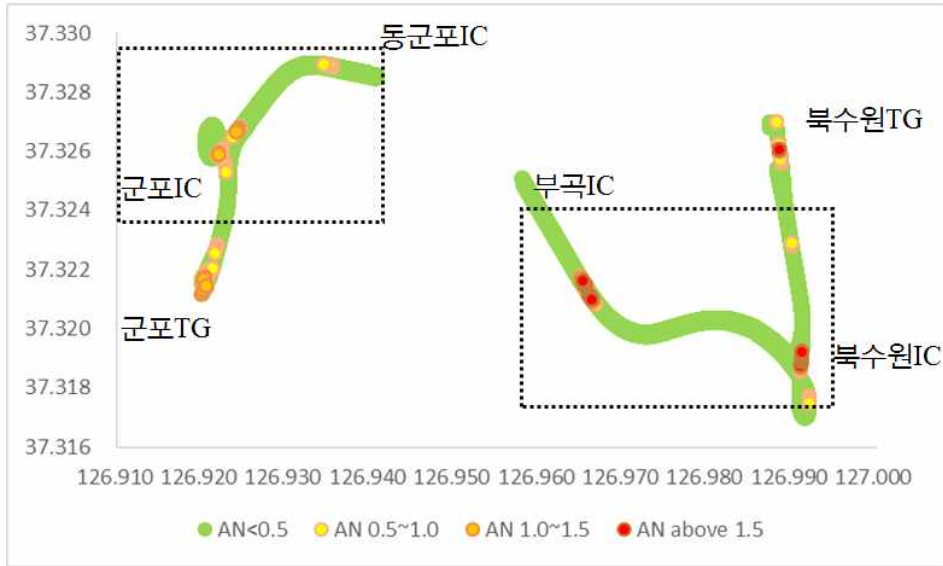
	1.5초	2.0초	3.0초	4.0초	6.0초
본 연구(고속도로)	0% 0.18%	-	0% 0.50%	0% 0.86%	0% 1.58%
Guido et al. (2차로도로)	3.66%, 12.83%	-	-	-	-
오철 외 (고속도로)	-	-	0.70% ~ 1.47%	-	-
Vogel (사지교차로)		0.1% 미만			0.1% ~ 0.3%

이처럼 고속도로 구간에서 TTC의 임계값을 그대로 적용하였을 때에는 본 분석구간에서의 상충이 발생하지 않는 것으로 판단할 수도 있다. 또한 관측시간의 길이와 관측구간의 범위가 각 문헌별로 다르게 설계 되어 있다는 점에 유의하여 변수값을 해석해야할 필요가 있다. 본 실험과 유사한 주행환경을 가진 오철 외(2007)의 연구에서는 임계값 3.0초 조건에서의 실험에서 차로별로 각각 0.70% - 1.47% 수준의 임계값 미만 관측비율을 보이고 있다. 이는 본 연구의 관측값과 유사한 수준의 값으로 판단된다.

본래 TTC의 경우 그 변수값이 무한대로 큰 값을 갖거나, 특정조건에서는 변수값이 산출되지 않는 경우도 있기 때문에 구간 내에서의 TTC 분포가 어떠한 패턴을 갖는지에 대한 고려가 필요하다. 분석대상 구간과 대조구간의 비교를 위해서 본 연구에서는 구간 내에서의 TTC 값 분포를 고려하고자 하였으며, 앞서 언급한 바와 같이 변동계수를 이용하여 각 구간을 비교해 볼 수 있다.



### 4.3.2. 가속소음 산출결과분석



[그림 4-12] 분석대상 구간 내 가속소음 분포

분석구간 내의 가속소음의 분포 역시 대체적으로  $0.5\text{m/s}^2$  미만의 값이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. High-risk 구간인 복수원IC-부곡IC 구간의 본선부에서 가속소음 값이 급격하게 변하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 부곡 IC에서 진입하여 합류하거나, 부곡 IC로 진출하기 위하여 차로변경을 하는 가운데서 발생한 변동으로 판단하고 있다. 이러한 점은 기존의 파일럿조사나, 3차조사들에서 관찰된 바 있다. 마찬가지로 동군포IC에서 진입 이후 일정 거리 이후에 발생한 가속소음이 높아지는 지점 차로 분류 후 합류되는 과정에서 발생하는 엇갈림에 의해 기인한다고 판단된다. 이외의 본선부 구간에서는 대체적으로 가속소음 값은 비교적 낮은 값인  $0.5\text{m/s}^2$  미만의 값을 나타내고 있다.

<표 4-8> 전체 분석 구간 별 AN 통계량

구분	북수원IC-부곡IC	동군포IC-군포IC
평균-선두차량(m/s <sup>2</sup> )	0.57	0.60
평균-후행차량 (m/s <sup>2</sup> )	0.67	0.66
표준편차-선두차량 (m/s <sup>2</sup> )	2.16	1.58
표준편차-후행차량 (m/s <sup>2</sup> )	0.90	0.85
변동계수-선두차량	3.81	2.64
변동계수-후행차량	1.34	1.28

본 조사에서 측정된 가속소음은 각 0.1초 단위마다 운전자의 인지반응시간만큼의 가속소음을 산출한 것으로 이를 통해 각 운전자의 반응에 관계되는 자극을 가속소음으로서 비교하고자 한다. 북수원IC-부곡IC에서 비교적 높은 값인 1.5m/s<sup>2</sup> 이상의 값을 갖는 지점들이 측정되고 있는 만큼 해당 지점의 경우 운전자에게 자극을 발생시키는 지점 즉, 상충이 발생할 가능성이 높은 지점일 것으로 판단된다. 마찬가지로 대조구간에서도 상충이 발생한 가능성이 상대적으로 높은 지점들이 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

Herman et al. (1959)에서 제시된 해당 차량군의 속도보다 5-10mph 더 빠르게 주행하려는 운전자의 가속소음 분포를 참고하여, 분포의 최대값에 해당하는 0.07g+2×0.05g 에 근사하는 1.66m/s<sup>2</sup>을 임계값으로 설정하여 분석을 실시해본 결과 선두차량의 경우 북수원IC-부곡IC 구

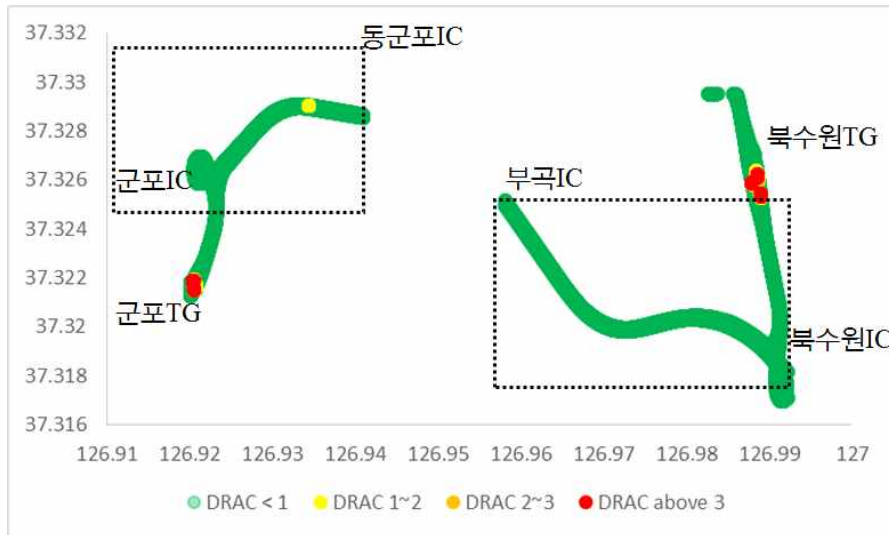
간의 관측시간의 약 4.27%가 가속소음의 임계값을 넘어서는 것으로 나타나고 있다. 반대로 대조구간인 동군포IC-군포IC에서는 약 3.81%로 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC구간에서의 안전변수의 차이를 확인할 수 있었다. 한편 후행차량의 경우 임계값  $1.66\text{m/s}^2$  를 초과하는 관측시간은 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC 구간에서 해당구간 관측시간의 약 8.28%인 반면, 대조구간인 동군포IC-군포IC 구간에서는 해당구간 관측시간의 약 7.19%로 나타나 앞서 확인한 차이와 일관된 결과를 보이고 있다.

<표 4-9> 임계값초과 관측시간(AN)

구분		북수원IC-부곡IC	동군포IC-군포IC
선두차량	임계값초과 시간 (초)	75.2	51.6
	임계값초과 시간비율 (%)	4.27	3.81
후행차량	임계값초과 시간 (초)	146	97.4
	임계값초과 시간비율 (%)	8.28	7.19

도로주행안전을 위협하는 상충지점들이 분포하는 지역을 찾아낼 수 있다는 점이 본 연구가 채택하고 있는 안전대리변수 분석법의 가장 주요한 목표이며, 본 연구의 방법론을 통해서 안전대리변수를 측정하여 분석대상구간에서의 차량 거동에 대한 면밀한 검토가 가능하다.

### 4.3.3. DRAC 산출결과분석



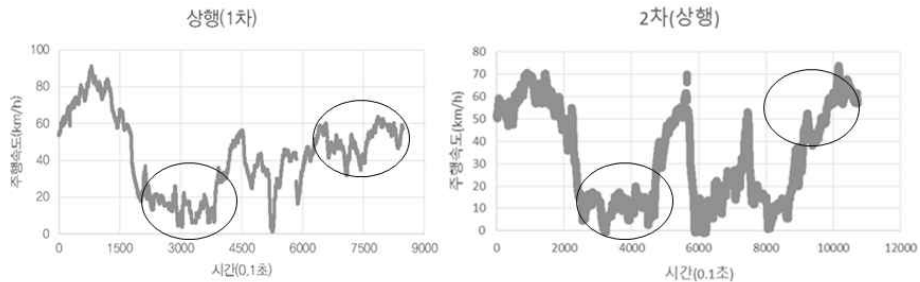
[그림 4-13] 분석대상구간에서의 DRAC 분포

DRAC의 경우에는 다른 변수와 달리 대부분의 주행구간에서 임계값에 가까운 산출값은 나타나지 않았다. DRAC의 경우 임계값을 AASHTO(2004)와 Cunto(2005)에서  $3.35\text{m/s}^2$ ,  $3.4\text{m/s}^2$  로 설정하고 있는데, 대부분의 지점에서 1미만의 변수값을 보이고 있다는 점에서 DRAC를 이용하여 설명할 수 있는 상충이 적게 일어났음을 의미한다. 그러나 북수원 TG, 군포 TG 부근에서 TG 통과후 가속하는 과정에서 발생한 DRAC 임계값 초과지점들의 경우, 실제 요금소 통과 후 가속하며 합류하는 과정에서 발생하는 Conflict를 반영하고 있음을 의미한다. 본 연구방법론을 이용한 분석에서 이와 같은 Conflict를 얻을 수 있다는 점에서, 분석하고자 하는 네트워크 링크의 특성에 맞게 각 변수의 유용성을 판단하는 것은 의미가 있을 것으로 판단된다.

## 4.4 종합분석

### 4.4.1. 동부간선도로(3차 실험) 의정부 방향 종합분석

본 3차 실험에서 동부간선도로 상행(의정부)방향 주행구간에서는 구간별 차량진출입에 의한 속도변동성이 크게 발생하고 있었다. 특히 월계1교~녹천교 구간에서의 속도 대비, 노원교~수락지하차도에서의 주행속도가 월등히 높으며, 원활한 소통상태를 보임에 따라 상층의 관측치가 적게 나타난 것을 앞선 4.1절에서 확인할 수 있었다.



[그림 4-14] 3차 실험 상행(의정부)방향 주행속도 측정결과

동부간선도로에서 수행된 3차 실험의 주행안전변수 측정 결과를 살펴보면 TTC의 경우 대소관계로 비교하기 어렵지만 나머지 두 개의 변수인 가속소음과 DRAC의 경우 km당 돌발 건수가 약 10배 가량 많은 월계1교~녹천교 구간에서의 변수의 평균값과 표준편차 값이 대조구간 대비 더 큰 것으로 나타난다. 또한 변동계수의 크기도 월계1교~녹천교 구간에서 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 변수들의 변동의 크기가 월계1교~녹천교 구간에서 더욱 크다는 것을 의미한다. 이로서 주행계획에 의한 안전대리변수의 변동이 심하다는 점에서 주행 시 변동성이

크게 나타나며, 변동성이 큰 주행이 안정성이 낮을 가능성 높다.

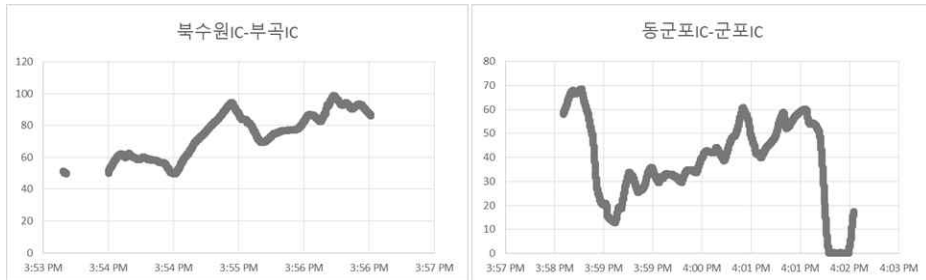
<표 4-10> 동부간선도로 (3차 실험) 주행안전변수 산출

		TTC(초)	후행차량 AN(m/s <sup>2</sup> )	DRAC(m/s <sup>2</sup> )
월계1교 ~ 녹천교 (High-risk)	평균	58.55	0.345	0.07
	표준 편차	145.248	0.294	0.192
	변동 계수	<b>2.48</b>	<b>0.85</b>	<b>2.51</b>
노원교 ~ 수락지하 차도 (Low-risk)	평균	48.04	0.313	0.04
	표준 편차	328.64	0.221	0.07
	변동 계수	<b>6.84</b>	<b>0.71</b>	<b>1.83</b>

#### 4.4.2. 영동고속도로(4차 실험) 인천방향 종합분석

본 실험에서 영동고속도로 인천방향 주행구간에서는 하류부의 돌발적인 정체여파로 인하여 동군포IC-군포IC 구간에서의 속도변동성이 크게 발생하고 있었다. 이로 인해 사고다발구간이 대조군에 비하여 안전대리변수를 이용한 주행안전도 측정변수가 위험하게 나타날 것이라는 가정과는 달리 대조군인 동군포IC-군포IC에서 주행안전도 측정변수로 선정하였던 안전대리변수의 변동계수가 사고다발구간인 북수원IC-부곡IC에 비하여 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 정체 여파로 인해 동군포IC-군포IC 구간에서 가다서다 현상을 반복하고 있기 때문

에, 상대적으로 해당시점에 상충이 발생할 확률이 더 높음을 의미한다. 실제 주행상황에서도 해당구간에서의 속도가 비교적 상류부인 북수원 IC-부곡IC구간에 비하여 낮음을 확인할 수 있다.



[그림 4-15] 인천방향 1회차 주행 속도 비교

[그림 4-15]에서 확인할 수 있듯이 시간대 별 단절구간을 통해 첫 번째 주행에서 두 구간 사이의 속도차이가 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상이 인천방향으로는 지속적으로 나타나고 있으며, 3장에서 제시하였던 해당구간의 VDS 5분 단위 속도자료를 통하여서도 알 수 있다.

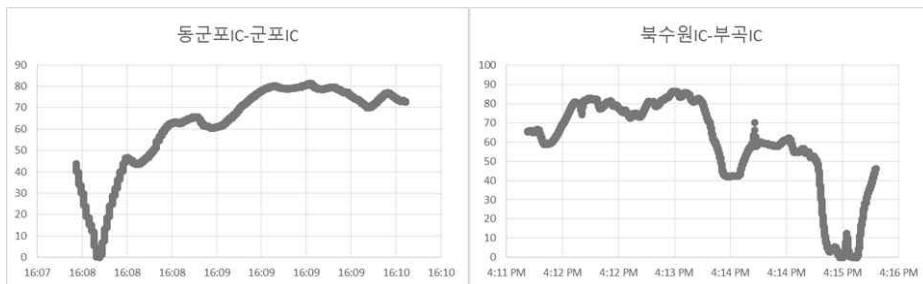
또한 실제 주행 실험에 참가하였던 운전자 인터뷰 결과, 선두차량, 후행차량 운전자 모두 인천방향 주행시 동군포IC-군포IC 구간에서의 주행안정성이 더 떨어졌다고 평가하고 있다는 점을 고려할 때, 산출된 안전대리변수변수를 이용한 주행안전측정변수는 비교적 설명력을 갖는다고 볼 수 있다. 분석결과 인천방향의 경우 측정시점에서 동군포IC-군포IC 구간이 북수원IC-부곡IC 구간보다 주행안전도가 더 낮음을 추론할 수 있다.

<표 4-11> 인천방향 주행안전변수 산출

		TTC(초)	후행차량 AN(m/s <sup>2</sup> )	DRAC(m/s <sup>2</sup> )
북수원IC-부곡IC (High-risk)	평균	155.78	0.522	0.04
	표준편차	914.9	0.75	0.199
	변동계수	<b>5.87</b>	<b>1.45</b>	<b>4.08</b>
동군포IC-군포IC (Low-risk)	평균	166.84	0.65	0.07
	표준편차	1164.51	0.827	0.37
	변동계수	<b>6.97</b>	<b>1.26</b>	<b>4.92</b>

#### 4.4.3. 영동고속도로(4차 실험) 강릉방향 종합분석

인천방향과는 달리 정체의 영향이 최소화되어 속도변동이 크게 발생하지 않았다. 두 구간의 본선부에서는 [그림 4-5]에서 확인할 수 있듯이 시속 60km와 80km 사이의 주행속도가 지속적으로 유지되고 있다.



[그림 4-16] 강릉방향 1회차 주행속도



그리하여 본 실험에 목표하고 있는 사고다발구간과 안전도가 낮을 것으로 판단되는 대조구간(동군포IC-군포IC)에서 산출된 안전대리변수 변수들의 변동성이 크게 나타나고 있다. 강릉방향의 경우 사고다발구간이라고 기대하였던 북수원IC-부곡IC 구간에서의 안전대리변수의 변동계수가 동군포IC-군포IC 구간에서의 변동계수보다 높다는 점에서 북수원IC-부곡IC 구간에서의 안전변수의 변동성이 높아 대조구간인 동군포IC-군포IC 구간보다 더 위험할 것으로 추정된다.

기대한 것과 같이 강릉방향에서의 주행에서는 주행안전에 위협이 될 만한 상황이 나타나지 않고, 비교적 수월하게 주행할 수 있었기 때문에, 인천방향에서의 결과보다 가정에 적합한 결과 값이 도출 되었다. <표 4-12>에서 산출된 주행안전변수인 안전대리변수의 변동계수를 살펴 본 결과 북수원IC-부곡IC 구간에서 동군포IC-군포IC 구간보다 더 높은 것으로 확인된다.

<표 4-12> 강릉방향 주행안전변수 산출

		TTC(초)	후행차량 AN(m/s <sup>2</sup> )	DRAC(m/s <sup>2</sup> )
북수원IC- 부곡IC (High-risk)	평균	256.42	0.66	0.072
	표준 편차	1713.02	0.89	0.65
	변동 계수	<b>6.68</b>	<b>1.35</b>	<b>4.92</b>
동군포IC- 군포 IC (Low-risk)	평균	227.89	0.68	0.064
	표준 편차	1372.05	0.88	0.23
	변동 계수	<b>6.02</b>	<b>1.29</b>	<b>3.64</b>

## 5장 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존 지점기반 안전대리변수 연구의 한계점을 극복하기 위하여 RTK-DGPS를 이용하여 주행구간특성과 차량의 궤적 정보를 수집하고, 구축자료로부터 궤적기반 TTC, DRAC, AN 등의 안전대리변수를 산출하는 방법론을 검토하였다. 특히 RTK-DGPS를 이용하여 기존 차량궤적 측정방식의 한계로 지적되고 있는 차량궤적의 연속 측정이 연속구간의 길이에 관계없이 수행될 수 있다는 점과 자료의 신뢰성 및 현실성에 있어서 높은 성능을 보이는 방법론이라 할 수 있다.

주행구간에서 산출된 안전대리변수를 통해 주행 중 주요 상충(Conflict) 지점을 확인할 수 있었다. 4차에 걸쳐 실험을 진행하면서 RTK-DGPS를 활용한 개별차량 안전대리변수의 측정방법론을 수립하였으며, 수립된 해당 방법론을 적용하여 연속류도로를 중심으로 실험을 실시하였다.

서울시 내의 경부고속도로 서초IC~양재IC 구간에서 실시한 실험을 통해 개별차량 안전대리변수를 파악함으로써 도로구간 상에서의 상충 발생가능성을 관측할 수 있었으며, 이를 토대로 도로구간 상에서의 주행안전도를 비교하고자 동부간선도로 중랑교-수락지하차도 구간과, 영동고속도로의 북수원IC-군포IC 구간에서 3차, 4차 실험을 실시하였다.

수행된 실험을 통한 실험차량주행궤적 대하여 주행안전도를 분석한 결과, 구간 내에서 사고다발구간과 그 대조구간과의 주행안전도를 안전대리변수 값의 변동계수를 활용하여 두 구간 간의 특성을 비교할 수

있다. 이를 통해 해당 구간에서의 주행안전도를 비교할 수 있다.

본 연구의 실험에서 확인할 수 있었던 바와 같이 동부간선도로의 월계1교-녹천교 구간과 영동고속도로 북수원IC-군포IC 구간에서 수립된 방법론을 수행결과 정체 등의 외부적 요인이 없을 경우 High-risk로 가정된 사고다발구간에서 안전대리변수의 변동성이 높았으며, 그동안 수행해 왔던 동부간선도로에서 실시한 3차 실험 결과와도 일치하는 결론을 얻었다. 반면 정체와 같은 외부적 요인의 영향이 있는 경우, 해당 구간에서 안전대리변수 변동성이 더 높아 불안정함을 확인할 수 있다. 이를 통해 차량계적기반 안전대리변수 산출을 통해 다양한 상황에서의 위험성을 합리적으로 설명할 수 있었다. 이와 같은 결과를 놓고 볼 때, 실험 당시의 교통상황에 따라 주행안전도가 변화할 수 있다는 점도 확인할 수 있었다. 이에 따라, 측정 시점에 따른 차량의 주행구간에서의 계적 기반 위험도 평가가 가능하다.

향후 연구과제로는 앞으로 분석의 공간적 범위 및 시간적 범위를 넓혀 자료를 수집하여 다양한 공간적 특성 및 운전자 행태에 따른 분석을 수행하고, 기존의 지점기반 안전대리변수와의 비교분석을 수행하여 본 연구에서 활용하고 있는 계적기반 안전대리변수의 활용성을 넓히기 위한 연구를 수행할 수 있다. 또한 미시교통류 이론인 차량추종 이론에서 추정하는 Stability parameter와 안전대리변수와의 관계를 검토함으로써, 차량거동의 미시적 행태에 따른 변동성을 함께 검토해볼 수 있을 것으로 판단된다. 특히 이러한 연구가 RTK-DGPS를 활용하여 수행되고 있음을 고려할 때, 유사한 자료로 추출된다는 점에서 개

별차량에 대한 위험도 분석과 같은 미시적 행태 분석도 가능할 것이다.

향후 교통공학이론에서 설명하고 있는 교통류 안정성과 안전대리변수가 합리적으로 위험성을 설명하고 있는지를 확인하여 다양한 구간특성 및 운전자 특성에 따른 위험상황을 설명하는 연구를 수행하고, 위험구간 감지 및 위험한 운전행태의 감지를 통한 예방에 활용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

Allen B. L., Shin B. T., Cooper P. (1978), Analysis of Traffic Conflicts and Collisions, TRR, 667, 67-74.

Almquist S., Hyden C., Risser R. (1991), Use of Speed Limiters in Cars for Increased Safety and a Better Environment, TRR, 1318, 34-39

American Association of State Highway and Transportation Officials (2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D.C.

Archer J. (2005), Methods for the Assessment and Prediction of Traffic Safety at Urban Intersection and Their Application in Micro-simulation Modeling, PhD Thesis, Dept. of Infrastructure, Royal Institute of Technology, Sweden.

Chin H., and Quek S. (1997), Measurement of Traffic Conflicts, Safety Science 26 (3), 169-185

Cooper D. F. and Ferguson N. (1976), Traffic Studies at T-junctions - a Conflict Simulation Model, Tfc Eng. and Ctrl., 17, 306-309.

Cunto F. J. (2008), Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation. Ph.D Thesis, Dept. of Civil Eng., Univ. of Waterloo, Ontario, Canada.

Drew D. R., Dudek C. L., Keese C. J. (1967), Freeway Level of Service as Described by an Energy-Acceleration Noise Model, TRR, 162, 30-85.

Gettman D., Head L. (2003), Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models. TRR, 1840, 104-115.

Grayson, G. B., (1984), The Malmo Study: a Calibration of Traffic Conflict Techniques, Report R-84-12, Institute for Road Safety Research SWOV, Leidschendam.

Google Inc. 2013. Google Earth (Build 7.1.2.2041)

Guido G., Vitale A., Astarita V., Saccomanno F., Giofre, V. F., Gallelli, V. (2012), Estimation of Safety Performance Measures from Smartphone Sensors, Procedia - Soc. and Behavioral Sci. 54, 1095-1103.

Hayward, J., (1972), Near Miss Determination through Use of a Scale of Danger, Report no.TTSC 7115, The Pennsylvania State University, Pennsylvania

Herman, R., Montroll, E. W., Potts, R. B., and Rothery, R. W. (1959), Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car-following, Opns Res, 7(1), 86-106

Hourdakis J., Garg V., Michalopoulos P. G., Davis G. A. (2006), Real-time Detection of Crash-prone Conditions at Freeway High Crash Locations, TRR 1968, 83-91.

Hyden, (1987), The Development of a Method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. Bulletin 70, University of Lund, Lund Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering, Lund.

Lee J. D, McGehee D. V., Brown T. L., Reyes M. L. (2002), Collision Warning Time, Driver Distraction, and Driver Response to Imminent Rear-End Collisions in a High-Fidelity Driving Simulator, *Human Factors* 44(2), 314-334.

Minderhoud M. M., Bovy P. H. L. (2001), Extended Time-to-collision Measures for Road Traffic Safety Assessment, *Accid Anal Prev* 33, 89-97.

Oh C., and Kim T. (2010), Estimation of Rear-end Crash Potential Using Vehicle Trajectory Data, *Accid Anal Prev* 42(6), 1888-1893.

Ozbay K., Yang H., Bartin B., Mudigonda S. (2008), Derivation and Validation of New Simulation-Based Surrogate Safety Measure, *TRR* 2083, 105-113.

Sacomanno FF., Cunto F., Guido G., Vitale A. (2008), Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Traffic Conflicts, *TRR*, 2078, 90-95.

Sayed T., Brown G., Navin F. (1994), Simulation of Traffic Conflicts at Unsignalized Intersections with TSC-Sim, *Accid Anal Prev* 26(5), 593-607.

Sayed T., Zein S. (1999), Traffic Conflict Standards for Intersections, *Transportation Planning and Technology* 22(4), 309–323.

Touran A., Brackstone M. A., McDonald M. (1999), A Collision Model for Safety Evaluation of Autonomous Intelligent Cruise Control. *Accid Anal Prev* 31, 567–578.

van der Horst, R. (1984), The ICTCT Calibration Study at Malmo: a Quantitative analysis of video-recordings, Report IZF 1984–37, TNO Institute for Perception, Soesterberg.

van der Horst, R. (1990), A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft

van der Horst, R. (1991), Time-to-collision as a cue for decision-making in braking. *Vision in Vehicles III*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1991, 19–26

van der Horst R., Hogema J. (1993), Time-To-Collision and Collision Avoidance Systems, 6th ICTCT workshop, Salzburg, Austria.

Vogel K. (2003), A Comparison of Headway and Time to Collision as Safety Indicators, *Accid Anal Prev* 35(3), 427–433.



# Abstract

## Measuring traffic flow stability using surrogate safety measure

Park, Seongyong

Department of Civil and Environmental Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Estimating the risks on the roadway using surrogate safety measures (SSM) has an advantage, which focused on the vehicle trajectory directly involved in conflicts. On the other hand, it has been restricted to estimate the risks of continuous segments due to its collecting information on limited location points. To overcome these restrictions, this study presents the scheme of acquiring the vehicular trajectory using real time kinematics - differential global positioning system (RTK-DGPS) and sets the methodology which contains the considerations of the problems to calculate the SSM such as time-to-collision (TTC), deceleration rate to avoid collision (DRAC), and acceleration noise (AN). By using this considered methodology, this study demonstrates a result from an experiment

executed in a section, where the variation of vehicular movement can be observed from several continuous flow roadway sections near Seoul and Gyeonggi Province in Korea . The results illustrated the risks on the roadway by the SSM metrics in certain situations like merging and diverging, stop-and-go, and weaving. This study would be applied to relate the dangers with characteristics of drivers and roadway sections, and it prevent the accident or conflict by detecting dangerous roadway section and drivers' behaviors. By these applications, this study contribute on the actions to improve roadway safety and reduce car-accidents.

**Keywords** : RTK-DGPS, Surrogate Safety Measure,  
Time-to-collision, Deceleration rate,  
Acceleration noise, vehicle trajectory

**Students Number** : 2013-20927