

동적운영제어시스템 안전성 평가를 위한 방법론 연구

Overview of Safety Evaluation in A Development of Dynamic Operation & Control System

유 주 성

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법

II. 국외 연구사례

1. 속도차이에 의한 안전성 평가 연구
2. headway에 의한 안전성 평가 연구
3. 국외 ITS 사업 평가사례

III. 국내 연구사례

1. 속도차이에 의한 안전성 평가 연구
2. 국내 ITS 사업 평가 사례

IV. 효과척도 선정

V. Simulation 프로그램 검토

1. IDAS
2. AIMSUN
3. 기타 Simulation 프로그램 검토

VI. Simulation 프로그램 선정

VII. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로의 연결로 접속부는 그 특성상 차로 변경이 빈번히 발생하고 불안정한 교통류를 형성하기 때문에 사고발생 가능성이 크고 혼잡의 발생이 잦은 상습적인 교통정체 구간이다. 이를 해결하기 위하여 미국과 유럽 등에서는 차로안 내, 가변차로 운영, 차로이용제어, 교통정보 제공 등의 기법을 사용하여 접속부의 속도나 차로를 제한함으로써 교통 상충을 최소화하고 있다. 이처럼, 교통운영시스템과 최신 정보통신기술을 접목하여 교통류를 제어·운영하는 것을 동적운영제어시스템이라고 한다. 현재 국내에서는 정보통신 기술의 이용이 주로 고속도로 관리, 정보수집, ETCS(Electronic Toll Collection

System) 등으로 국한되어 있지만, 교통류 검지 및 정보표출 기술개발, 제어전략 개발을 통하여 동적 운영제어시스템을 개발하는 중이다. 그러나, 개발된 동적운영제어시스템을 현장에 바로 적용할 경우, 운전자에게 익숙하지 않은 시스템 운영으로 인하여 교통상황을 보다 악화시킬 우려가 있으므로, 시스템의 평가를 통해 취약한 부분을 도출·보완하여 보다 효율적으로 시스템을 개발해야 하기 때문에 시스템의 평가는 필수적이다.

본 연구는 동적운영제어시스템의 제어 전략이 안전성 측면에서 어떠한 효과가 있는지 평가하기 위한 방법론 연구로써, 시스템 설치에 따른 안전성 평가를 위한 효과척도 (Measure of Effectiveness, MOE) 선정 및 활용가능한 Simulation 프로그램을 검토하는 것이 그 목적이다.

현재 운영·제어시스템 설치에 따른 효율성 평

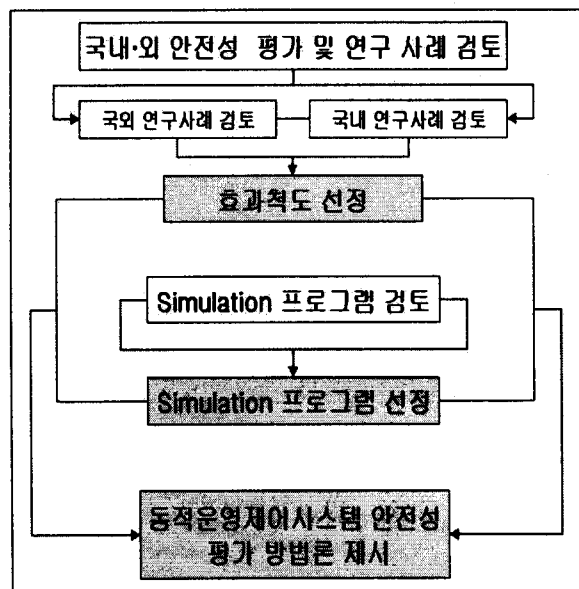
가는 국내·외에서 많은 연구가 이뤄져 있어 각 시스템 목적에 적합한 효과척도 선정에 큰 어려움은 없는 상태이며, 안전성 평가는 시스템 설치 후 일정기간(1년 이상)이 경과한 후 사고율 및 교통사고 발생건수, 사고심각도 등의 효과척도를 이용하여 사전·사후 분석을 통해 평가를 실시하고 있는 상태이다. 본 연구는 일반적으로 적용되고 있는 사고건수 및 사고심각도와 같은 설치 후 장기간이 경과한 후 평가가 가능한 효과척도가 아닌 교통류의 미시적 특성을 이용하여 중·단기에 시스템의 안전성을 평가할 수 있는 효과척도를 선정하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구는 동적운영제어시스템의 안전성 평가시 활용하는 효과척도 선정 및 Simulation 프로그램 선정을 위한 기본연구다. 이를 위하여,

첫째, 국내·외 안전성 평가 관련 연구를 검토하도록 한다. 국외 연구의 경우, 안전성 평가 연구는 크게 속도의 차이에 의한 안전성 연구와 headway에 따른 안전성 연구로 분류된다. 두 가지 분류에 따른 국내·외 연구를 검토하여 연구의 목적에 맞는 효과척도를 선정하도록 한다.

둘째, Simulation 프로그램 중 동적운영제어 시스템 안전성평가에 적용가능한 프로그램을 선정하도록 한다.



<그림 1> 연구의 방법

II. 국외 연구사례

1. 속도차이에 의한 안전성 평가 연구

1) Solomon

Solomon(1964)은 속도와 사고의 상관관계에 대하여 연구를 하였다. 속도의 분산에 따른 사고의 관계를 정의하였고 2차로 도로와 4차로 도로의 관측교통량을 이용하여 차량속도분포를 산출하였다. 아래 식 (1)은 사고와 속도의 분산 관계를 나타낸 관계식이다.

$$I = 10^{0.0006062\Delta v^2 - 0.006675\Delta v + 2.23} \dots\dots (1)$$

I : involvement rate per 100,000 veh kilometers

Δv : speed difference, km/hr

이 연구에서 도로의 교통사고와 속도의 분산은 0을 기준으로 U형 곡선을 나타냈다. 이는 차량군의 주행속도의 분산이 0에 가까울수록 안전한 도로임을 뜻한다. 즉, 평균 주행속도보다 낮아질수록 혹은 높아질수록 보다 높은 위험에 노출되어 있음을 표현하고 있다.

2) Lamm

독일의 Lamm (1988,1994)은 설계속도(V_d)와 85백분위 주행속도(V_{85}) 차이를 평균 사고율과 관련하여 연구하여 설계일관성, 주행속도 일관성, 주행의 동적일관성으로 구분하여 평가기준을 제시하였다. 이 중 주행속도 일관성 기준을 살펴보면, 연속된 구간의 평면선형구조, 평균곡선반경, 설계곡선반경 등을 기반으로 산출하여 각 구간별 V_{85} 의 차이를 비교하여 평가한 것으로 아래 식 (2)와 같다

GOOD design : $\Delta V_{85} \leq 10\text{km/hr}$

FAIR design : $10\text{km/hr} < \Delta V_{85} \leq 20\text{km/hr} \dots (2)$

POOR design : $\Delta V_{85} > 20\text{km/hr}$

3) MUARC (Monash Univ. Accident Research)

MUARC(1993)는 Solomon의 연구와 마찬가지로

지로 속도의 분산과 사고와의 상관관계를 연구하였다. 평균 주행속도보다 높은 경우에는 사고 발생증가율이 높고, 낮은 경우에는 사고 발생증가율이 미비한 것이 차이점이다. 이는, 과속 차량이 저속차량에 비해 위험한 운전행태를 보이는 점을 고려하였을 때 Solomon의 연구보다 현실적이라 판단된다. 아래 식 (3)은 사고와 속도의 분산 관계를 나타낸 관계식이다.

$$I = 500 + 0.8\Delta V^2 + 0.014\Delta V^3 \quad \dots\dots (3)$$

I : involvement rate per 100,000 veh kilometers
 Δv : speed difference, km/hr

4) Liu & Popoff

Liu와 Popoff는 평균차량속도와 사고비율간의 선형관계에 대하여 연구하였다. 평균차량속도, 속도의 차이, 사고비율간의 관계를 분석한 결과, 평균통행속도보다 1km/hr 감소할 때 부상 사고가 7% 감소됨을 알 수 있었다. 아래 식 (4)는 두가지 식으로 나뉘지는데 위 식은 사고와 평균차량속도의 관계를 나타낸 것이며, 아래 식은 속도의 차이까지 포함하여 나타낸 관계식이다.

$$Casualty\ rate = -17126.1 + 190.71\bar{v} \quad \dots\dots (4)$$

$$Casualty\ rate = -0.0298\bar{v} + 0.0405(V_{85} - V_{15}) - 3.366$$

$Casualty\ rate$: 백만대- km 당 부상 or 사망자
 \bar{v} : 평균속도, km/hr

5) EURO 모형

영국 Buruya에서 개발한 모형으로 영국과 유럽에 대한 속도-사고 모형식이다. 평균속도와 속도의 차이가 사고빈도에 미치는 영향을 분석하였다. 사고빈도와 평균속도는 양의 방향으로 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 아래 식 (5)는 평균속도와 속도 차이에 의한 사고빈도 관계를 나타낸 관계식이다.

$$\Delta \ln(AF) = \left(\frac{1.536}{\bar{v}}\right) \Delta v \quad \dots\dots (5)$$

AF = 사고빈도(사고건수/년)
 \bar{v} = 평균속도 (km/hr)
 Δv = speed difference, km/hr

<표 1> 속도차이에 의한 국외 안전성평가 연구

구분	연구내용	결과
Solomon	속도의 분산에 따른 사고와의 상관성 정의	속도의 분산이 클수록 위험
Lamm	구간별 V_{85} 차이에 따른 연속구간의 안전성 평가	속도의 차이가 클수록 위험
MUARC	속도의 분산에 따른 사고와의 상관성 정의	평균속도보다 높을수록 위험
Liu & Popoff	평균차량속도와 속도차이에 의한 사고와의 상관성 분석	평균속도 1 km/hr 감소시 부상사고 7% 감소
EURO 모형	평균속도와 속도차이에 의한 사고빈도와의 상관성 분석	사고빈도는 평균속도와는 반비례, 속도차이와는 비례함

2. headway에 의한 안전성 평가 연구

1) Kataja Vogel

Kataja Vogel(2003)은 도로의 안전성 평가지표로 headway를 사용할 것을 제안하였다. 안전지표로 headway와 Time to Collision(TTC)을 고려하였으며, headway가 잠재적인 위험상황을 판단할 수 있다고 결론지었으며, headway가 작을수록 보다 위험하다고 판단하였다.

2) Sirpa Rajalin et al

Sirpa Rajalin et al(1997)은 운전자를 두 개의 집단으로 분류하여 설문조사를 실시하여 연구하였다. 운전자 행태를 차량추종상태에 따라 2개의 집단 (Close-following drivers와 Control drivers)으로 구분하였으며, 전자의 집단은 headway가 0.8초 이하, 후자의 집단은 headway가 2~5초로 구성되었다. Close-following drivers를 잠재적인 위험요소로 판단하여 headway가 작은 이유에 대하여 설문조사를 실시한 결과, 40%가 추월을 목적으로 하였으며, 73%가 남성으로 조사되었다.

3) 운전자 특성 관련 연구

Evans & Wasielewski(1983)는 나이가 적을수록 headway가 짧아지고, 남자가 여자에 비해 짧다는 결론을 도출하였다.

Evans & Von Buseck(1982)는 안전벨트를 하지 않은 운전자가 더 짧은 Headway를 가짐을

발견하였다.

headway와 관련된 연구들을 통하여 headway가 짧을수록 위험한 운전행태를 가지고 있는 것으로 정성적으로 판단할 수 있으며, 설문조사 및 경험적인 연구를 통하여 연령대가 어릴수록, 여자보다 남자가 보다 공격적인 운전행태를 가지는 것을 알 수 있다.

<표 2> headway에 의한 국외 안전성평가 연구

구분	연구내용	결과
Kataja Vogel	안전지표로 headway와 TTC를 제안함	headway로 잠재적 위험 판단 가능하며 작을수록 위험
Sirpa Rafalin	차량추종형태에 따른 운전자행태 분류 후 설문조사	headway가 작을수록 공격적인 운전행태임
운전자 특성 연구	성별, 연령에 따른 운전자행태 분석	남성이 여성보다, 저연령이 고연령보다 위험한 운전행태를 보임

3. 국외 ITS 사업 평가 사례

1) 미국 텍사스주 평가 사례

미국 텍사스주에서는 미국 교통국의 평가에 대한 기존 지침을 중심으로 텍사스 주에 적합한 ITS의 교통목표와 효과척도를 선정하였다. 그 중, 안전성 증진을 목표로 모든 형태의 교통수단과 다른 교통수단 사이의 환승을 안전하게 보장하는 것을 목적으로 하여 충돌사고 횟수와 부상정도, 사망자수를 효과척도로 선정하였다.

2) 일본 평가 사례

일본에서는 VERTIS 주관으로 1997년부터 1999년까지의 ITS의 종합적인 전략과 모델도시 타당성에 대한 연구를 시행하여, 그 중 5개의 지자체를 중심으로 평가하였다. 편익은 효율성, 안전성, 환경적 효과를 정량화하여 산출하였고, 안전성 평가는 교통사고건수를 효과척도로 제시하였다.

III. 국내 연구사례

국내의 경우 교통류의 미시적 특성을 이용하여 안전성을 평가하는 방법에 대해서는 연구가 미흡한 실정이며, 현재 한국도로공사 등에서 도

로안전진단제도의 도입으로 인해 도로의 안전성 평가방법의 필요성이 증대되고 있는 시점이다.

도로의 선형설계일관성 평가 관련 연구는 도로의 안전성 평가가 주요 목적이거나, 대부분 곡선부의 주행속도를 추정하는 것이 주를 이루고 있으며, 이는 본 연구의 목적인 시스템 설치에 따른 안전성 평가에 적용하기에는 무리가 있으므로, 본 연구의 목적에 부합되는 연구 및 평가 사례들을 정리하였다.

1. 속도차이에 의한 안전성 평가 연구

1) 이점호

이점호(2000)는 평면곡선 내의 속도변화와 교통사고 발생간의 관계를 규명하였다. 직선구간의 평균자유속도와 곡선상의 최저속도간의 차이를 분석하고, 곡선부의 교통사고발생지점을 조사하여 상관성을 분석하였다. 그 결과, 속도의 변화폭 크기가 교통사고발생 빈도에 밀접한 영향을 미치고, 변화폭이 클수록 교통사고의 빈도가 높게 나타났다.

2) 하태준

하태준(2002)은 속도 분산 차이, 차량 진행방향 가속도 차이, 곡선반경방향 가속도 차이를 이용하여 새로운 안전성 평가 방법을 제시하였다. 차두간격이 6초를 초과한 때부터 선행차량이 주행차량에게 미치는 영향이 없음을 도출하였으며, 각 독립변수별로 위험도(사고건수와 EPDO(Equivalent-Property-Damage-Only)로 판단)와의 연관성을 분석하였다. 그 결과, 속도차와 가속도 차에 의한 영향은 유의수준에 만족하지 않았으며, 속도 분산차에 의한 연관성은 유의수준 0.05에서 EPDO와 유의하였다. 즉, 속도의 분산 차이는 도로의 위험도와 연관성이 있다는 결과가 도출되었다. 아래 <표 3>은 하태준의 연구결과이다.

<표 3> 속도분산차와 EPDO 상관관계 (하태준, 2003)

	사고건수	분산	분산 차
EPDO	0.421	0.157	-0.720
사고건수	-	0.147	-0.434
분산	-	-	-0.236

2. 국내 ITS 사업 평가 사례

1) 남두회

남두회(2002)는 국내 ITS 사업의 타당성 분석기법정립에 관한 연구를 통하여 ITS 사업의 평가방법론에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과, 안전성 관련 부분의 편익항목으로 돌발상황 횡수, 교통사고횡수, 사고심각도, 사고관련 사회비용 등을 제시하였다. 제시된 항목들은 장기적인 관측을 필요로 하는 것으로 본 연구의 목적인 중·단기 관측을 통한 효과분석에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

2) 첨단교통모델도시 평가사례

2001년 건설교통부는 ITS 활성화 도모를 위하여 국내 3개도시(대전, 전주, 제주)를 첨단교통모델도시로 선정하여 ITS 건설사업을 수행하였다. 2002년 첨단교통모델도시 건설사업 효과분석을 실시하여 ITS 사업으로 인한 효과를 평가하였다. 각 도시별로 목표에 적합한 평가지표를 선정하여 사업 전·후의 교통여건을 조사하여 분석을 하였다. 국외의 연구사례를 참고하여 평가방법론을 정립하였으며, 특히 제주시는 단기 효과에 초점을 맞추어 평가과정에 있어서 단기 효과평가를 분석하는 데 중점을 두었으며, 현장 조사를 통한 영향 분석과 정성적 분석을 주로 실시하였다. 대전광역시와 전주시는 단기 효과 분석과 함께 경제성분석을 통한 중·장기 효과분석을 병행하여 수행하였으며, 이는 현장조사 자료를 입력한 시뮬레이션을 활용하여 분석하였다. 안전성 관련 효과척도는 사고건수와 사망자수로 선정하여, 경찰청 관련문서 조사 및 설문조사, ITS 사업 평가 Simulation 프로그램인 IDAS를 활용하여 평가를 실시하였다.

<표 4> 첨단교통모델도시 건설사업 효과분석

구분	안전성 효과척도	내용
대전	사고건수, 사망자수	경찰청 사고조사 문헌조사
전주	사고건수, 사망자수, 사고감소효과	사전·사후 현장조사 및 IDAS 활용 (정량적 분석) 및 설문조사 실시 (정성적 분석)
제주	교통사고 발생건수	문헌 및 통계자료 활용

IV. 효과척도 선정

국내·외 연구 및 평가사례를 검토한 결과, 도로의 안전성을 평가하는 방법은 크게 두가지로 분류할 수 있다. 하나는, 주행속도 및 속도의 분산, headway 등의 교통류의 미시적 특성을 이용하여 방법이며, 다른 하나는, 장기적인 관측을 통하여 얻은 사고 자료를 조사하여 사고건수 및 사고심각도 등을 비교하는 방법이다. 전자의 경우, 국내에서는 연구진행이 미비한 상황이지만, 국외에서는 많은 연구가 진행되었다. 시스템 설치 후 중·단기 시스템의 안전성을 평가하여 발생한 문제점을 빠르게 보완하기 위해서는 교통류의 미시적 특성을 이용한 효과척도를 선정하는 것이 유리하다. 따라서, 본 연구에서는 속도의 분산과 headway를 효과척도로 선정한다.

V. Simulation 프로그램 검토

Simulation 활용은 외부적 요인의 변화가 예견되거나, 현장조사를 통해 자료수집이 불가능한 경우, 기타 보완적으로 다양한 대안을 분석할 필요가 있을 경우에 활용하게 된다. 본 연구에서는 다양한 대안의 선정 폭이 넓어질 수 있도록 Simulation 프로그램을 활용하려 한다.

1. IDAS (ITS Deployment Analysis System)

IDAS는 FHWA에서 ITS 서브시스템 운영으로 인한 효과를 분석하기 위하여 설계한 시스템이다. 편익 항목으로는 통행시간, 통행시간 신뢰성, 이동성, 사고(심각도, 사고비용), 연료소모량 등의 결과를 도출할 수 있어 ITS 사업의 개략적인 분석이 가능하다는 장점이 존재한다. 안전성 관련부분 모듈은 v/c, 통행시간, VMT에 따른 사고율과 사고 건당 비용을 적용하여 산출한다.

2. AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Network)

AIMSUN은 IDAS와 동일하게 교통수요데이터를 활용하여 다양한 교통형태(도심지 N/W,

간선도로, 고속도로 등)를 구현하여 교통상황을 Simulation하는 프로그램이다. 다양한 ITS 전략(VMS, Ramp Metering, Traffic calming 등)의 구현이 타 Simulation 프로그램에 비해 용이하며, 유고발생을 프로그램 상에서 구현하여 이를 처리하는 전략 수립이 가능하다는 장점이 있다. IDAS와 같은 편익, 비용을 산정하는 기능은 없지만, 통행속도, 통행시간, 밀도, 지체시간, 정지횟수, 연료소비량, 배기가스 배출량 등의 Output 산출이 가능하다.

3. 기타 Simulation 프로그램 검토

CORSIM은 기존의 NETSIM과 FRESIM이 통합된 프로그램으로써, 간선가로망과 고속화도로의 연계분석이 가능하며, 신호전략(정주기 및 감응식 제어), 유고/단기간 이벤트 등 교통방해 요인의 묘사 가능 등이 주요 장점으로 존재한다. 또한, 램프미터링 등의 교통관리전략의 적용이 가능하다. 그러나, 단점으로는 실시간 신호제어 시스템의 적용이 불가능하다는 점이 있다.

VISSIM은 독일의 PTV사가 개발한 미시적 시뮬레이션 프로그램으로 3D 구현 능력이 우수한 프로그램이다. 자체 입력프로그램인 VISVAP을 이용하여 여러 ITS 전략을 수립할 수 있으나, 유고관리 전략수립에는 한계점이 있다.

VI. Simulation 프로그램 선정

현재 미국 및 국내의 ITS 사업 평가를 살펴보면, 대부분 IDAS를 활용하고 있다. ITS 사업 평가를 위하여 개발한 프로그램이기 때문에 모든 전략의 평가가 가능하며, 또한, 편익/비용 분석을 통하여 사업의 우선순위를 선정하는 과정에서도 사용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 동적운영제어시스템의 안전성 관련 편익을 산출할 때 IDAS를 활용하도록 한다.

교통운영 Simulation 프로그램의 경우, 많은 프로그램이 존재한다. 차후 동적운영제어시스템을 설치하기 전의 네트워크를 구축하여 현실묘사가 가장 우수한 것을 선정하도록 하고, 본 연구에서는 검토만을 하였다.

VII. 결론 및 향후 연구과제

동적운영제어시스템의 안전성 평가를 위한 효과적도 선정을 위하여 국내·외 연구 및 평가사례를 검토하였다. 그 결과, 중·단기 안전성 평가를 실시할 수 있도록 미시적 교통특성인 속도 분산과 headway를 효과적으로 선정하였다. 또한, 활용가능한 Simulation 프로그램 검토를 통해 편익산출시 IDAS를 활용하도록 한다.

차후 동적운영제어시스템의 설치 전·후 현장 조사를 실시하여, 이를 바탕으로 사전·사후 분석을 이용하여 동적운영제어시스템의 안전성 평가를 실시한다.

참고문헌

1. 최재성(1998), "도로선형에 대한 설계 일관성 평가모형의 개발", 대한교통학회지 제 16권 제4호.
2. 이점호(2000), "평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석 연구", 대한교통학회지 제 18권 제1호.
3. 하태준 외(2002), "지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구", 대한교통학회지 제 20권 제1호.
4. 남두희(2002), "ITS 사업의 타당성 분석기법정립에 관한 연구", 한국교통연구원
5. 이수일(2006), "안전측면의 도로선형 설계일관성 평가기준 개발에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문
6. 건설교통부(2004), "첨단교통모델도시 건설사업 효과분석",
7. 한국도로공사(2006), "고속도로 우회도로 ITS 효과분석 및 개선방안"
8. Todd Litman et. al(2005), "Safe Travels : Evaluating Mobility Management Traffic Safety Impacts", Victoria Transport Policy Institute
9. AASHTO(2004), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", Washington, D.C.
10. Kataja Vogel(2003), "A comparison of headway and time to collision as safety indicator", Accident analysis & prevention 35
11. R. Lamm et. al(1994), "Curvilinear Alignment : an important Issue for More Consistent and Safer Road Characteristic", TRR 1445, TRB
12. Sirpa Rajalin(1997), "Close-Following Drivers on two-lane highways", Accident analysis & prevention 29
13. R. Lamm et. al(1988), "Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural road", TRR 1195, TRB

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술 개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.