

# 고속주행 환경 하에서의 고속도로 진출입제어 운영사례 분석

(Analysis on highway entrance and exit control considering high-speed travelling environment)

**김규욱**

(한국교통연구원, 책임연구원)

**신희철**

(한국교통연구원, 책임연구원)

**이재형**

(한국교통연구원, 연구원)

Key Words : 진출입제어, 고속주행

## 목 차

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| I. 서론                    | III. 고속주행 환경시 진출입제어 운영방향 |
| II. 국외 운영사례 분석           | IV. 결론 및 향후 연구과제         |
| 1. 고속도로 진출입제어 발전동향 분석    |                          |
| 2. 초고속으로 운영되는 고속도로 사례 분석 | 참고문헌                     |

## I. 서론

고속주행 환경 하에서의 고속도로 진출입제어는 도로운영의 안전성과 효율성의 측면에서 중요한 제어기법임에도 불구하고, 현재 국내에서는 이에 관한 연구가 미진하다. 국외에서는 ITS 분야 중 교통관제 분야에서 진출입제어 서비스가 포함되어 있으며, 주로 교통관제시스템의 각 서브기능으로 포함되어 있다.

미국의 경우 2015년에는 약 4,200억 달러 규모로 성장할 것으로 예상하고 있는 데 이중에서 진출입제어에 관한 영역이 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 일본의 경우에도 차량항법장치 및 VICS(Vehicle Information and Communication System)를 기반으로 ITS 시장이 크게 형성되는 데 특히 진출입 관련된 차량 선진화, 센터기능화 노력이 계속되고 있다.

유럽의 경우에도 유럽차원의 진출입제어시스템 개발이 진행 중에 있고 구축이 이루어지고 있다. 이와 같이 진출입제어 운영은 센터차원에서 구현되고 있으며 교통혼잡 개선을 위한 핵심 기술로 향후 소프트웨어 시장이 막대하리라 판단된다.

본 연구에서는 고속주행 하에서 운영되는 고속도로 진출입부의 도로조건, 교통조건을 반영한 해외 운영사례를 소개하고 국내적용 방향에 대해 모색해 보고자 한다.

## II. 국외 운영사례 분석

### 1. 고속도로 진출입제어 발전동향 분석

#### 1) 일반적 동향

1960년 초 미국에서 시작된 램프미터링은 해를 거듭할수록 진화하고 있으며 다양한 전략과 알고리즘이 계속적으로 소개되고 있다. 1960년 대에는 디트로이트, 시카고에서 램프미터링을 실시하기 시작하였다. 루프검지기와 CCTV를 이용한 고속도로 감시 및 제어 시스템에 대한 연구개발이 시작되어 고속도로 차로제어 표시, 가변속도 표시, 고정식 램프미터링, 램프 폐쇄 등의 다양한 시스템이 등장하였다. 1970년대에는 램프 및 교차로에서의 버스 우선처리를 포함한 램프미터링과 고속도로 축과 간선도로의 제어를 통합한 교통축 통합제어 등의 연구개발이 시작되었다. 1980년대에는 램프미터링이 미국 많은 주에 구축되어 확산되기 시작하였다. 더욱 다양한 고속도로 운영관리 시스템이 개발되어 적용되었으며 램프미터링을 효율적으로 운영하기 위한 운영기법이 소개되었다.

1990년대에는 고속도로 관리에도 ITS가 적용되어, 유도검지, 차로이용제어, 램프제어, 다인승차량우선처리제어, 정보제공, 유도관리 등의 고속도로 관리시스템 구축이 활발히 진행되었다. 한편, 유럽에서도 네덜란드, 영국, 프랑스를 중심으로 램프미터링에 대한 연구가 수행되어 대도시의 혼잡 도시고속도로 구간에 설치 운영되기 시작하였다. 우리나라에서도 경제·사회적인 이슈가 된 고속도로의 교통혼잡을 완화하고자 하는 대안으로 램프미터링이 고려되기 시작하였고 서울의 도시고속도로와 경부고속도로에 램프미터링 시스템이 구축되기도 하였다.

2000년대에는 미국뿐만이 아니라 유럽에서도 적극적으로 램프미터링에 대한 연구를 수행하기 시작하였다. 미국의 경험과 실패를 교훈삼아 유럽의 특성에 맞는 램프미터링을 개발하기 위하여, 네덜란드, 프랑스, 벨기에, 독일, 영국, 이스라엘 등의 국가가 연합하여 EURAMP 프로젝트를 수행하였고 이를 토대로 구축 계획을 수립하고 있다.

## 2) 미국 동향

미국내 대도시 지역을 대상으로 램프미터링과 관련된 운영 기관 78개를 대상으로 조사한 결과 약 26,336 개의 램프중에서 4,156개의 램프에 램프미터링이 구축되어 운영중이었으며, 이는 조사대상 전체 램프의 23%에 해당될 만큼 미국내에서 램프미터링이 널리 확산되고 있음을 보여주고 있다.

미국의 경우, 중부와 동북부의 주를 제외하고 대부분의 주에서 현재 램프미터링을 실시하고 있으며, 2000년 미네소타주의 세이트 폴에서 실시된 램프 미터링의 타당성 평가 이후, 다른 도시에서도 램프미터링의 적용을 위한 다양한 시뮬레이션 및 현장 테스트가 진행 중이다. 캘리포니아, 미네소타, 오레곤 주에 있는 대도시의 경우 전체 램프 대비 그 운영율이 100%에 육박하고 있다.

## 3) 유럽 동향

미국의 진입제어 성공경험을 토대로 최근 영국, 네덜란드, 프랑스, 독일 등 유럽에서는 도로의 운영 효율을 높이기 위한 램프미터링 시스템을 적극 구축하고 있으며, 램프미터링 관련 연구 프로젝트가 진행 중에 있다. 지금까지 미국에서의 램프미터링 경험과 효과를 긍정적으로 인식한 결과라 할 수 있다.

유럽의 램프미터링이 미국의 경우와 다른 점은 미국은 고속도로의 축을 연결하는 시스템적인 램프미터링 구축 전략을 수립 운영하는 데 비해 유럽형은 개별 램프의 효율적인 운영에 관심을 갖고 시험적으로 운영한다는 데 있다.

2004년 3월부터 시작된 EURAMP 프로젝트에서는 유럽의 고속도로상의 안전을 개선하고 교통류 흐름의 효율을 증대시키기 위해 프랑스의 파리, 네덜란드의 위트레흐트, 독일의 뮌헨, 이스라엘의 텔 아브비 주변의 고속도로를 시범사이트로 선정하여 다양한 실험을 진행하였다.

<표 1> 미국 사례 분석 결과

	캘리포니아 주	위스콘신 주 매디슨	워싱턴 주 시애틀	미네소타 주 트윈 시티
미터기 수	주 전체 1,000개 이상	5개	2002년도 120개	430 개
고속도로 길이	도시 고속도로 길이의 약 70%	4 miles	760 miles	Twin Cities 대도시 지역 210 miles
전략/적용 알고리즘 유형	지역, 시스템 방식(Local and System-wide), 정주기 제어 및 감응식 제어	지역적(Local), HOV 우회차선에 고정식 제어	시스템 방식(System-wide), 감응식제어 / Fuzzy Logic 알고리즘	고정식, 감응식, 통합 램프 미터링의 혼합식
TOD 운영	위치에 따라 다양, 일반적으로 첨두시에 특수한 상황 동안 단일 운영	6:30~9:00AM, 3:00~6:00PM	평일 6:00~10:00AM, 3:00~7:00PM 유고 및 특수한 상황 동안 운영	오전, 오후 첨두시
시스템의 확장 계획	2008년까지 주 전체에 1,400곳 이상 확장 계획	현재 고려 중	2008년 까지 160곳	2008년까지 350곳
특수적용 또는 특성	주 전체에 적용 및 전략의 다양화	-	미래의 램프미터링은 긴급 차량 우선 통과 및 대중교통 우선권을 제공할 계획	미국의 통합운영 램프미터링 시스템 중 하나, 고속도로와 고속도로를 잇는 램프 미터링 포함

## 4) 미국과 유럽의 사례 분석

미국과 유럽의 사례를 분석한 결과 <표 1, 2>와 같다.

<표 2> 유럽 사례 분석 결과

국가	벨기에	영국	프랑스	독일	네덜란드
알고리즘	ALINEA 알고리즘 사용	ALINEA 알고리즘과 수요/용량 알고리즘	ALINEA 알고리즘 사용	개량형 ALINEA 알고리즘 사용	교통수요 대응 기반의 RWS 알고리즘, ALINEA 알고리즘 사용
모니터링 시스템	상류부 점유 데이터 모니터링(평가용)	CCTV와 차량 번호판 인식 시스템 활용 (교통량과 통행시간 평가용)	-	-	진입부에 Red light 카메라 설치(단속용)
주기	최소주기 4초로 운영 (녹색(1-3초), 황색(1-2초), 적색(최소 2초))	교통상황에 따라 가변적으로 운영 (황색(0.5초), 적색(2초))	가변적으로 운영 (최소 녹색(1-2초), 황색(3초), 적색(가변))	4-20초 주기 사용 (녹색(0-16초), 황색(1초), 적색(1초))	최소주기 4.5초와 최대주기 12-15초로 운영 (녹색(2초), 황색(0.5초), 적색(최소 2초))
운영시간	점유율이 18%이상 일 때와 평일 06:00에서 10:00	-	평일 06:00에서 10:00과 일요일 오후	첨두시 사용	실시간으로 운영
사전예고표지	사용	사용	사용	사용	사용
운영기준	연결로에 너무 많은 수요가 발생하면, 램프미터링은 자동적으로 운영되지 않고, 황색 점멸등 등화	연결로 차량수에 따라 달리 적용	연결로의 차량 대수를 기준으로 연결로에 너무 많은 수요가 발생하면, 램프미터링은 자동적으로 운영되지 않고, 황색 점멸등 등화	-	고속도로의 교통수요와 속도를 고려하여 제어가 자체적으로 판단하여 운영
법적 규제	적색신호 위반시 자동 차량 조회 시스템 미운영	적색신호 위반시 자동 차량 조회 시스템 운영	프랑스 법규정 적용	경찰	적색신호 위반시스템 사용

## 2. 초고속으로 운영되는 고속도로 사례 분석

### 1) 독일(Autobahn)

Autobahn은 독일 전역 약 12,200km에 걸친 고속도로망이며, 독일 대부분의 지역이 아우토반에서 50km 이내에 위치하도록 되어있다. 도로의 너비는 18.5m~20m이고 중앙에는 3.5m~5m 너비의 중앙 분리대(녹지대)가 있다.

속도 무제한 구간과 속도 제한 구간이 존재하지만 트럭은 80km/h의 제한 속도를 설정하고 있으며 속도 무제한 구간 내에서의 추천 속도는 130km/h이다. 최근 속도 무제한 구간이 증가하여 총 구간의 20%를 차지하고 있으나 속도 무제한 구간에서 노면이 거칠거나 교통량의 증가에 따라 혼잡 구간이 증가하면서 무제한 속도 구간에서의 무제한 속도 주행이 사실상 불가능해지고 있는 추세이다.

Autobahn은 건설 초기부터 고속 주행을 염두에 둔 도로이기 때문에 고속 주행에 적합한 도로이며 구배는 원칙적으로 4% 이내로 억제되어 있다. 건설 시에 비행기 활주로의 용도로도 검토되었기 때문에 포장이 다른 나라에 비하여 두꺼운 편이 특징이다.



<그림 1> 독일 내 Autobahn 노선도

### 2) 미국(Trans-Texas Corridor Project)

Trans-Texas Corridor Project는 Mexico로부터 캐나다와의 국경에 이어지는 물류 운송로의 한 축을 마련하고 텍사스를 국제적 교통 허브로 만들기 위한 전략적 도로이다.

총 연장 6,400km로 승용차 전용도로(방향별 3차로), 트럭 전용도로(방향별 2차로), 철도노선(방향별 3개 철로, 고속열차 전용, 통근전용, 화물전용으로 나뉨)과 송유관, 광통신망 등이 매설된 폭 61m의 전용설비지역으로 구성되어 있다.

목표 설계속도는 160km/h이며, 85mile/h(약 140km/h)의 속도를 제한 속도로 설정하고 있으며, 개발기간 50년, 총 예산 한화 150조원 가량이 투입될 것으로 예상된다. 현재 I-69와 I-35를 따라 평행으로 노선을 구축하고 있다.



<그림 2> Trans-Texas Corridor의 개념도



<그림 3> Trans-Texas Corridor의 노선

### 3) 일본(제2 토메이-메이신 고속도로)

제2 메이신(名神) 고속도로는 아이치(愛知)현의 나고야(名古屋)시와 효고(兵庫)현의 고베(神戸)시 사이의 구간, 제2 토메이(東名) 고속도로는 도쿄(東京)도의 세타가야(世田谷)구에서 시작해 가나가와(神奈川)현, 시즈오카(静岡)현을 거쳐 아이치(愛知)현의 고마키(小牧)에 이르는 구간에 건설되고 있는 총 연장 602km의 수도권과 중부, 킨키(近畿) 지방을 묶는 일본 경제의 대동맥이다.

제2메이신 고속도로의 카메야마(龜山)~오오즈(大津) 구간은 2008년 2월 23일에 이미 개통되어 운영 중에 있으며, 제2메이신 고속도로는 2018년 전구간 개통, 제2토메이 고속도로는 2020년 전구간 개통을 목표로 시공 중이다.

설계속도는 140km/h이지만 제한속도는 120km/h로 설정되어 있으며, 제2메이신 고속도로의 경우 각 차로의 폭을 3.75m로 하는 기본 편도 3차로(왕복 6차로)로 설계되었다.

도로의 높낮이 변화폭을 줄이고 급커브 구간을 최소화하여 차량이 되도록 최고 속도를 유지하며 달릴 수 있도록 추구하는 특징을 가지고 있다.



<그림 4> 제2 토메이-메이신 고속도로 사업구간

### III. 고속주행 환경시 진출입제어 운영방향

본 연구에서는 고속도로 진출입제어 발전동향과 초고속으로 운영되는 고속도로 사례 분석을 통하여 고속주행 환경시 진출입제어 운영방향을 설정하였다. 고속주행 환경시 진출입제어 운영방향은 안전측면과 운영측면을 고여, 크게 4가지로 운영방향을 설정하였으며, 다음과 같다.

- 본선의 진출입시 본선 소통우선
- 하부도로의 신호네트워크 충격 최소화
- 진출입 차량의 안전확보를 위해 충분한 제동거리 유지
- 진출입하는 개별차량에 교통정보 제공

본선의 고속주행 환경을 유지하기 위해서는 본선의 진출입시 본선의 소통을 우선으로 진출입제어가 운영되어야 한다. 또한 이로 인해 발생할 수 있는 인접 하부도로의 신호네트워크의 충격을 최소화하여 하부도로의 지체를 최소화해야 한다. 특히 진출램프에서 하부도로의 대기행렬이 본선에 영향을 준다면 운영측면 뿐만 아니라 사고의 위험성이 높아져 안전측면에서도 문제를 야기할 수 있다.

진출입 차량의 안전확보를 위하여 고속주행 환경에 적합한 진출입제어시설을 갖추어 충분한 제동거리를 유지할 수 있도록 해야 하며, 진출입하는 개별차량에 교통정보를 제공하여 진출입하는 운전자와 영향권에 있는 운전자에게 진출입에 관한 정보를 전달하여 안전하게 진출입을 할 수 있도록 적극적인 진출입제어를 운영해야 한다고 판단된다.

### IV. 결론 및 향후 연구과제

#### 1. 결론

빠른 속도로 발전하는 정보통신의 기술로, 향후에는 첨단도로 기능, 텔레매틱스와 같은 첨단차량의 정보제공기능, 도로 주변 차량 감지장치의 기능을 활용한 신개념의 통합된 운영제어시스템이 등장할 것으로 예상된다. 고속도로 본선의 운영은 진출부와 진입부의 교통상황과 도로여건에 큰 영향을 받는다. 고속도로에서 주행할 수 있는 속도가 높아졌을 때, 고속도로와의 인접한 진출입부에서의 교통운영전략과 시스템에 관한 운영사례 연구를 통하여 고속주행 환경시 진출입제어 운영방향을 안전측면과 운영측면을 고려하여 4가지로 설정하였다.

#### 2. 향후 연구과제

고속주행 환경 하에서의 진출입제어 운영사례 분석을 위해서는 미국, 독일, 일본 등 고속주행 환경을 구축하여 운영하고 있는 초고속 도로의 진출입제어 시나리오 및 알고리즘 사례 분석이 필요하다. 이와 같은 사례를 바탕으로 국내 고속주행 환경에서 적용할 수 있는 교통류 해석을 추가하여 시나리오 적용 및 알고리즘을 개발한다면, 고속주행 환경 하에서의

고속도로 진출입제어에 관한 연구에 기초 연구가 되리라 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 07-기술혁신 A01)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 한국건설교통평가원 “스마트하이웨이사전기획연구”, 2007. 6
2. 건설교통부, “연속류 도로체계 연결부 동적운영제어시스템 개발”, 2005
3. 강정규, 수퍼하이웨이 기술 개발 구상, 한국도로학회 06 학술발표회 논문집, 2006