

## 친환경 저탄소형 도로기술 개발을 위한 녹색속도의 정립 방안

정성학, 이종학, 노관섭

### I. 서론

자동차를 중심으로 하는 도로교통은 우리 삶에 필수적인 부분이다. 하지만, 주기적으로 대두되는 국제적인 고유가 문제에 대응하고, 최근의 지속가능한 녹색성장과 녹색교통에 대한 활발한 논의에 부응하여 자동차 교통의 적절한 운영기술이 요구되고 있다.

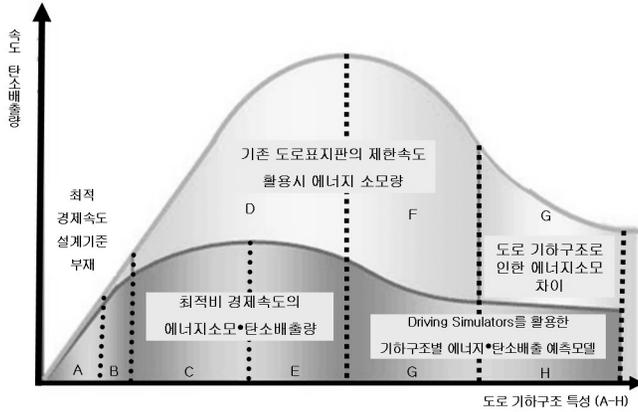
이를 위해서 본 연구에서는 도로구조 특성별 최적비 경제속도(Cost-Benefit, Economical-Driving Speed) 지표 산출을 제안하고자 한다. 출발지에서 운전자가 목적지를 행해서 운행시에 운행일정을 결정하는 기준은 운행거리를 기준으로 통행시간과 비용에 따라 운행스케줄링을 운전자가 의사결정하고 있다. 운행거리를 중심으로 통행시간과 비용의 결정요소는 통행하는 도로의 기하구조 특성과 속도에 귀결하는데, 이것은 도로를 운행하는 차량의 속도가 운행일정과 운행비용 결정에 가장 중요한 요소이기 때문이다.

현재, 도로에서는 교통안전표지를 사용하여 도로상의 제한속도만 제공하고 있는데, 본 연구는 설계속도와 제한속도를 고려하면서 도로의 기하구조 특성과 차량의 에너지 소모율을 도로교통환경에 따라 최적화하는 경제속도를 도로의 기하구조 특성별(시내/시외부, 단속/연속류, 선형-평면곡선/종단경사)로 산출하여 도로전광표지판(VMS: Variable Message Sign)이나 차량항법장치(NAVI: Navigator), 개인 휴대용 정보 단말기(PDA: Personal Digital Assistants), 노변방송(HAR: Highway Advisory Radio) 등의 첨단

정성학 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실, 선임연구원, shchung@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0203, 직장팩스:031-919-5694

이종학 : 한국건설기술연구원 도로연구실, 연구원, jonghak@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0732, 직장팩스:031-919-5694

노관섭 : 한국건설기술연구원 도로연구실, 책임연구원, ksno@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0163, 직장팩스:031-919-5694



〈그림 1〉 녹색속도(Eco-Driving Speed) 개념도

교통시스템(ITS: Intelligent Transport Systems)을 통하여 운전자 친화형 교통정보 서비스를 제공하는 방안을 정립하였다. 〈그림 1〉은 본 연구에서 제안하는 경제적인 주행속도로서 녹색속도(Eco Driving Speed)의 개념도이다.

녹색주행(Eco-driving)은 국가물류비에서 물동차량 유류비의 10-15% 절감으로 에너지의 효율화, 도로안전성 향상, 고효율, 비용절감 등을 기대할 수 있다.

## II. 녹색속도의 제안 배경

### 1. 도로설계와 운영을 위한 속도 기준

도로설계기준은 계획·도로의 중요도, 교통량, 지형조건, 지질 및 토질조건, 기상조건 등을 고려하여 기술적, 경제적, 환경적 관점에서 타당한 설계기준을 정립하는 것이다. 도로설계의 기본요건은 도로구분, 설계속도, 기하구조인데 평면곡선반경, 종단경사, 편경사, 시거, 종단곡선 변화비율 등이 있으며, 횡단요소로서 차도, 중앙분리대, 길어깨 등을 고려한다. 설계속도는 설계구간 내에서 차량이 도로의 구조적인 조건만으로 지배되는 상태에서 운전자가 안전하게 달릴 수 있는 최고 속도(Maximum Speed Safely)로

정의한다. 설계속도의 개념은 1930년대 Barnett에 의해 개발되었으며, 상대적으로 속도가 높은 운전자 그룹에 의해 받아들여질 수 있는 균일한 최대속도로 현재까지 도로설계지표 중의 하나로 활용되고 있다(Gutierrez, 1997; AASHTO, 1994). 우리나라는 도로상에서 최대속도를 기준으로 제한속도 정보만 교통안전표지에 제공하고 있다.

본 주제와 관련한 연구는 시설과 차량간 Intelligent Speed Adaptation 활용으로 장거리 운행을 담당하는 7.5톤 이상의 중차량 트럭과 버스에 적용되어 왔고, 초기 1990년대를 기점으로 도로운전을 목적으로 활용되던 기술이 2004년대에 들어오면서 유럽을 중심으로 중차량과 대형의 물류를 운반하는 차량에 Eco-Driving Way 기술로 발전 중에 있다.

녹색주행속도 기술의 활용으로 국가물류비에서 물동차량 유류비의 10-15%를 절감하고, 에너지의 효율화, 도로안전성 향상, 친환경적 공간창출, 고효율적인 시스템, 비용절감의 사례를 보여주고 있다. 유럽의 기후변화 프로그램 통계(2007)에 의하면, 유럽연합은 최소 약 50만톤의 CO<sub>2</sub> 감소효과와 연간 70억 유로의 경제적 효과를 제공하였다.

## 2. 사회·문화·경제적 요구 조건

우리나라는 에너지 공급의 97%를 해외에 의존하고 있는 자연빈약국 중의 하나로 경제상황은 고유가로 인해 영향이 더욱 심각한 상황에 있다. 지속적으로 상승하는 고유가와 환경문제는 국가 경제에 많은 어려움을 안겨주고 있으며, 물가상승은 동반되는 시민경제를 어렵게 하고 있다. 2007년에는 에너지 수입액만 1,000억 달러를 넘어섰고, 석유소비에서는 세계 6위에 달할 만큼, 석유 의존도가 높은 국가이다. 또한, 1인당 전기 소비량도 우리의 GDP 2~3배가 넘는 영국이나 일본보다도 더 높게 나타나고 있다(한국에너지기술연구원). 그동안 빠른 경제성장을 위해 자동차·화학·조선·철강·기계·장치산업 등의 에너지 다소비 산업이 주류를 이루었기 때문에 에너지 소비가 곧 경제성장을 나타내는 지표였지만, 점차 에너지 저소비형 고부가가치의 첨단 녹색산업(그린카, 친환경·에코 디자인, 신재생에너지, 트레일·레저문화 녹색콘텐츠)이 증가함에 따라 산업계의 에너지 사용량 증가율은 점차 둔화되고 있다. 녹색산업에서는 에너지 소비가 경제성장과 비

례하지 않는다. 에너지의 과도한 소비는 국가 경제를 어렵게 할 뿐 만 아니라, 지구환경을 위협하는 지구온난화의 원인이 되고 있어서 고유가를 극복하고 쾌적한 녹색도로환경을 위해서라도 에너지 절약과 교통공학의 역할이 필수적인 행동양식으로 자리 잡아야 할 시기에 도래하게 되었다.

정부(지식경제부와 국토해양부) 주도로 '10억리터 석유 모으기 천만인 실천운동'이라는 에너지 절약 캠페인을 실천하고 있다. 이러한 에너지 절약 운동은 매일 20km 출퇴근 거리를 1주일간 대중교통 이용하기, 여름철 1개월간 매일 1시간 에어컨 끄기 또는 겨울철 1개월간 매일 보일러 15분 끄기 등의 적정 냉방온도 지키기, 2개월간 대기 전력저감(코드 뽑기) 또는 고효율조명 교체(LED) 중 한 가지만 실천해도 국민 한 사람당 석유 10리터는 쉽게 절약될 수 있다는 취지하에 시작되었다. 실천내용은 다음과 같다 (<http://oil.100.or.kr>).

- 첫째, 자가용 이용횟수를 한 달에 1주일 이상 줄이고 대중교통을 이용하겠습니다.
- 둘째, 반경 2km 이내의 거리는 가급적 걷고, 자전거를 타겠습니다.
- 셋째, 여름철 실내 적정온도인 26-28°를 지키겠습니다.
- 넷째, 여름철 한 달 간 하루 1시간 에어컨 사용을 줄이겠습니다.
- 다섯째, 안쓰는 가전제품의 플러그를 뽑아 에너지 낭비를 줄이겠습니다.
- 여섯째, 그 외 아래의 실천방법으로 10리터 석유모으기에 동참하겠습니다.

한국에너지기술연구원(KIER: Korea Institute of Energy Research)은 우리나라 에너지 절약 15선을 발표한 바 있다. 시민·정부 및 공공기관(3억리터)에서는 차량 짝·홀수제 이용과 청사 건물의 에너지 절약(전등 끄기, 승강기 사용제한, LED 확대 등), 대중교통이용 확대를 실시하고 있다. 한편, 정부(지식경제부)에서는 에너지절약의 날을 지정, 전직원이 대중교통을 이용 출퇴근하는 노력이 실천되고 있다.

기업에서는 7억리터의 석유모으기를 목표로 자발적 선언과 경제계 전체의 에너지절약 붐을 조성, 5가지 중점 실천사항을 시행 중에 있다. 실천사항 다섯 가지는 에너지 설비 고효율화, 대체에너지 사용 확대, 건물에너지 효율 증대, 운송효율화, 에너지 경영시스템 구축이다.

정부의 ‘10억리터 석유모으기’ 에너지 절약 캠페인의 의미는 우리나라 연간 석유수입량(약 7.6억배럴)의 약 1%인 10억리터(약630만배럴)이다. 금액으로는 현재(2008년 8월10일) 128달러 기준으로, 1달러가 1,037원으로 환산시 10억리터는 8,382억원에 해당하는 금액이다. 크기로는 서울 상암동 월드컵경기장의 절반수준이다.

교통공학 측면에서는 평균속도를 80km/h에서 110km/h로 올리면 연료는 20~30%정도 더 소비 된다. 예를 들어, 서울에서 대전을 80km/h로 주행하면 110km/h로 주행할 때보다 약 25분 늦게 도착하지만, 연료는 20~30%가 절약된다. 속도대별 연비 및 연료소비량(100km 주행시)은 <표 1>과 같다(한국에너지기술연구원, 2008).

<표 1> 주행속도에 따른 에너지 소모량 비교

속도 (km/h)	연비 (km/L)	연료 소모량(L)	연료 증가율(%)
50	15.50	6.6	12
60	15.80	6.4	9
70	17.15	5.8	0
80	16.15	6.2	7
90	14.15	6.6	14
100	13.32	7.1	22
110	13.32	7.5	29
120	12.50	8.0	38

이와 같이, 주행속도 결정에 있어서 비용효과를 분석하면 다음과 같다. 110km/h에서 80km/h로 속도를 줄여서 운행할 경우, (연 20,000km 주행 기준)-연간 절감액:  $(7.5-6.2) \ell \times (20,000\text{km}/80\text{km}) \times 1,530\text{원}/\ell = 497,250$  원을 절감한다. 또한, TV, 비디오, 오디오, 에어컨 등 여러 전기제품을 꽂아두는 멀티탭은 사용하지 않을 때 똑딱이를 꺼두면 대기전력을 차단할 수 있고, 대기전력이 자동으로 차단되는 자동절전 멀티탭을 사용하면 전기소비량의 최소 10%를 줄일 수 있다. 또한, 사용하지 않는 대기전력만 잘 차단해도 연간 3만3천원, 전국적으로 4,620억원이 절약되는 효과가 있다(한국에너지기술연구원, 2008).

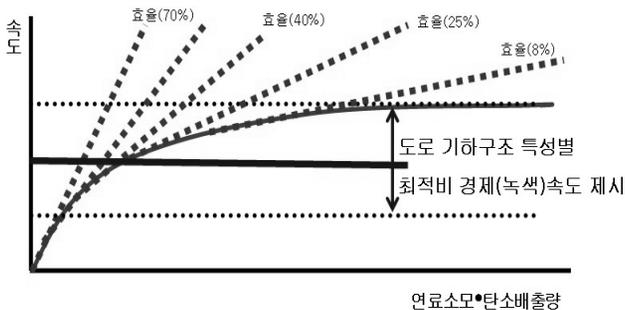
〈표 2〉 연간 낭비되는 가정용 에너지

제품	내용	절약량 (kwh/년)	절약액 (원/년)
냉장고	3등급을 1등급으로 교체시 23% 에너지 절약 효과	168	26,880
에어컨	실내온도 1°C 낮추면 7% 전력 더 소모	74	11,840
세탁기	세탁시간은 10분 이내가 적당	14	2,240
고효율램프	고효율램프는 백열전구보다 수명 5배 이상, 소비전력은 1/5수준	852	136,320
형광램프	32mm보다 26mm가 수명과 절전에 좋음	7	1,120
대기전력	TV, 오디오 가전제품의 대기전력	392	62,720
컴퓨터	절전용 멀티탭 사용 혹은 비사용시 플러그 뽑기	142	22,720
합계		1,649	263,840

### III. 녹색속도의 정립 방안

#### 1. 녹색속도의 산정과 활용

본 연구는 트럭/버스/중량차량 등의 운행관리와 유지경영에 사용되는 타코미터(Tachometer)의 속도와 엔진회전수(RPM: Revolution Per Minute)정보를 가공하여 도로의 기하구조에 적합한 최적 운행속도와 경로 정보를 노변라디오, 휴대폰, 개인 휴대용 정보 단말기, 차량항법장치, 도로 전광표지 등의 ITS 장비와 IT 통신기술을 활용하여 비용효율적인 최적 경제속도를 인터랙티브한 운전자 친화형 지표로 표출한다.



〈그림 2〉 도로 기하구조 특성별 최적비 경제(녹색)속도

도로 기하구조 특성을 구현하는 중차량/트럭/버스 Eco-Driving Simulator 개발과 IT기술로 Eco-Drive모듈을 버스, 트럭 및 중차량에 적용함으로써 도로주행 시뮬레이터(Driving Simulator)를 활용한 도로시설물의 안전지표를 개발하는 기반을 조성한다. 대표적인 도로 기하구조별 Eco-Driving & Energy Efficient Driving Simulation 녹색도로시설 지표를 개발한다.

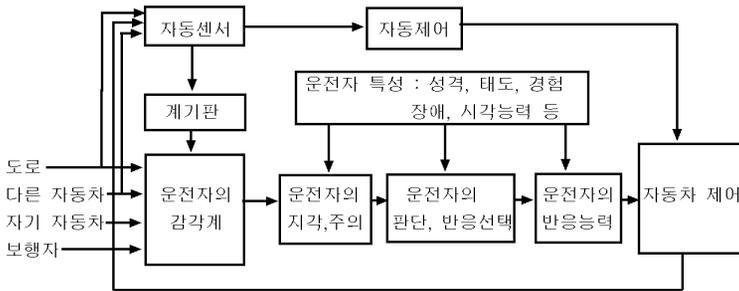
## 2. 녹색속도의 설계 요인

교통체계는 인간, 차량, 환경(시설)의 3대 구성요소로 이루어져 있다. 교통체계는 차량, 교통시설 및 장비/장치 등 물리적인 시설을 포함하며, 이용자와 운영자, 그리고 유지관리자 등 많은 서브시스템 체계를 포함하고 있다. 이와 같이 교통체계는 물리적인 것 뿐 만 아니라, 운전자, 승객, 보행자라는 인간을 포함하고 있기 때문에 교통체계란 자연적으로 물리적인 면과 인적요소 측면이 상호 연관되게 되는 분야이다.

운전자가 주행속도를 결정하는 요소에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다(이순철, 2000) 특히, 인적 요소 측면에서의 연구는 운전임무와 활동을 수행하는 효능과 효율을 향상시키려는 것으로 교통이용자의 편의성 증대, 오류의 감소, 효율 및 만족감 향상을 들 수 있다. 그리고 교통체계의 시스템 가치향상을 위하여 안전성 개선, 피로와 스트레스의 절감, 쾌적감 증가, 운전자 수용성 향상, 교통 만족도의 증대, 교통문화의 질 개선 등을 위한 노력이 경주되고 있다.

교통 이벤트(사건·사고) 발생원인의 90%이상이 인적 요인임을 볼 때, 인적 특성을 이해하고 운전행동에 영향을 주는 시스템 구성요소의 상호작용 요소에 대한 인간공학 연구가 부족하다. 따라서, 기본적인 필수적인 연구 수행이 시급하다.

현재까지의 국내외 교통관련 인간공학 연구는 대다수가 운전자 중심으로 수행되어 왔다. <그림 3>에서와 같이, 운전자-자동차-도로 시스템에서 운전자의 의사결정 절차에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 운전행동 결정에 영향을 미치는 운전자 요소들을 감각능력(시각, 청각 등), 지각 및 판단능력, 운동능력, 운전자 개인특성(성격 및 태도, 장애 등)으로 압축할



〈그림 3〉 운전자-자동차-도로시스템에 있어서의 운전자 의사결정 절차(이순철, 2000)

수 있다. 이 요소들은 모두 운전행동 결정에 필요한 정보의 획득과 처리, 그리고 의사결정에 직접적으로 관여하므로 주의 깊게 살펴 볼 필요가 있다.

이와 같은 연구가 성공적으로 진행되기 위해서는 트레일러 Eco-Driving Simulator를 개발하는 것이 선행되어야 한다. 도로설계에서 속도 결정이나 기하구조의 결정은 주로, 승용차가 아닌 트레일러를 기준으로 설계하기 때문이다. 따라서, 도로설계와 평가를 위한 트럭, 버스 트레일러 Driving Simulator 개발이 선행되어야 하겠다. Eco-Driving 도로설계 기술력 확보는 비용효율적이고, 환경친화적인 Eco-Road 건설 기술력 확보로 향후, IT도로 건설 수출의 기틀을 마련할 것이다.

#### IV. 결론

본 제안연구는 국민들이 생활 속에서 간단하고 손쉽게 고유가를 극복하는 방침을 제공하는 실마리를 제공한다. 현명한 우리 국민은 어려운 위기 때마다 힘을 모아 위기를 극복해 왔다. 민간과 기업, 정부, 지자체가 합심하면 에너지 효율적인 국가, 에너지를 적게 소비하는 국가를 만들어 갈 수 있다. 도로에서는 속도를 나타내는 교통안전표지를 통하여 도로상의 제한속도만 제공하지, 시내부와 시외부 등의 도로의 구조가 다르고, 환경에 따른 기하구조에서 도로유형과 구조에 적절한 속도기준이 없다. 따라서, 본 연구에서는 녹색속도(Eco-Driving Speed)를 제안한 것으로, 설계속도와 제한속

도를 고려하여 도로의 기하구조 특성과 차량의 에너지 소모율을 도로교통 환경에 따라 최적화하는 녹색-경제속도를 도로의 기하구조 특성별로 산출하여 활용하는 방안을 마련하였다. 이의 적용은 친환경적으로 CO<sub>2</sub> 방출량 감소와 유류소모 10-15% 절감 등의 국가 물류비 절감효과가 있고, 교통사고율 감소를 위한 도로시설의 안전설계에 기여하는 바가 클 것이다. 또한, 안전과 효율 운전을 위한 버스/트럭의 대형차 교육훈련에도 활용할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 이순철(2000), 교통심리학, 학지사.
2. 지식경제부, 10억리터 절약캠페인, <http://oil.100.or.kr>
3. 한국에너지기술연구원, <http://www.kier.re.kr>
4. AASHTO(1994), A policy on geometric design of highway and streets.
5. Gutierrez, N.I.(1997), A model for estimating Operating speeds on combined alignments on rural 2-lane highway, Ph D Thesis, Texas A&M Univ.



정성학



이종학



노관섭