Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 24, No. 1 pp.9-17, February 2005

Demand/Effort모형의 수준결정을 위한 수리적 방법 연구

정봉조* · 장명순** · 김정룡*** · 박재완*

Mathematical Approach to Determine the Level of Demand/Effort Model

Bong Jo Chung*, Myung Soon Chang**, Jung Young Kim***, Jae Wan Park*

ABSTRACT

81.1% of traffic accidents is attributed to the drivers. In this regard, D/E model is a practical and effective method in terms of the cost and time in evaluating the road hazardousness. To examine the validity of the threshold values by the levels of demand We selected 10 subjects and collected their physiological signals while they were driving on Honam Highway (Jeonju → Hoideog section). Based on the collected data, the hazardous road condition was evaluated using the new threshold values of the effort level determined by cluster analysis. In applying the D/E model, a decision method based on the demand level was suggested, using a traffic accident prediction model. Additionally, the limit value of the effort level was determined using the drivers' physiological signal data collected at the highway. A comparison analysis of the two D/E models revealed no significant difference: The existing method and the clustering method determined 9 and 7 hazardous road zones, respectively, while actual traffic accidents were reported in 6 and 4 zones, respectively among the predicted road hazardous zones. However, the latter method suggested a more scientific and rational basis in determining the limit value of the Effort level. In conclusion, although D/E model has a great merit as a pioneering method to reflect human factors in evaluating the road hazardousness, it is believed that this method could be improved by a more dynamic method that considers the traffic conditions and the individual physiological signal of the drivers simultaneously in determining a better limit.

Keyword: 도로위험도, Demand/Effort모형, 생체신호, Cluster분석, 정규성분석, 인간공학

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

도로에서 발생하는 교통사고는 일반적으로 발생원인에 따라 인적요인, 도로 및 환경요인, 차량요인 세 가지로 구분되며, 교통사고는 이러한 요인들의 단독적 또는 상호 복합적인 관계의 부조화에서 일어난다고 알려져 있다. 1998~2000년의 3년 동안 고속도로에서 발생한 교통사고 중 운전자 과실에 의한 교통사고가 전체 12,071건 중 9,793건으로 총 교통사고의 81.1%에 달하고 있다.

그러나 교통사고를 줄이기 위한 그간의 노력은 도로시설의 기하구조를 개선하거나 차량의 성능을 향상시키는데 집중되어 매년 막대한 비용을 투자를 하였음에도 불구하고 교통사고의 증가추세를 크게 줄이지 못하고 있다.

교통사고 통계에서 운전자 과실이 교통사고의 주요한 발

*한국도로공사 도로교통기술원 교통연구그룹, **한양대학교 교통시스템공학과, ***한양대학교 정보경영공학과
교신저자: 정봉조
주 소: 445-812 경기도 화성시 동탄면 산척리 50-5, 전화: 031-371-3310, E-mail: chungbj@freeway.co.kr

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

생원인으로 나타나고 있다면 교통사고를 효과적으로 줄이기 위해서는 무엇보다도 교통사고와 관련된 운전자 과실을 최소화하는 방안을 마련하고 이에 대한 대비책을 중심으로 교통안전개선사업을 추진하여야 할 것이다.

그동안 교통사고 발생에 있어서 인적요인을 명확히 규명하는 방법으로 운전자의 주관적인 판단이나 관찰 그리고 운전자의 생체신호를 이용하는 등 다양한 연구가 시도 되었다. 도로환경요소와 이에 대응하는 운전자 작업부하와의 관계 비교를 통하여 교통사고 원인규명을 위한 노력의 일환으로 Blumenthal, M.(1968)은 도로환경요구(system demand)와 운전자 능력(driver performance)의 비교를 통하여 도로환경 요구에 운전자의 능력이 미치지 못할 때 사고가 발생한다는 관계를 설명하였고, Wilson, J. R.(1995)의 자극(stimulus)과 작업부하(workload)와의 상관관계 연구에서 주변 자극이 높은 경우 작업을 원만히 수행하기 위해 작업자의 정신적 작업부하가 증가하고 자극이 없을 경우 지루함에 의해 작업부하가 높아지는 경우도 있으므로 안전운전을 위해서는 작업자는 최적의 정신적 작업부하수준을 유지하여야 한다고 주장하였다. Fuller, R.(2000)은 운전자의 능력이 도로가 요구하는 조건을 초과하면 안전한 운전이 가능하고 부족하게 되면 조종능력을 상실한다는 Task-Capability Interface Model를 발표하였고 김정룡 등(2003)은 도로 및 교통조건에 의해 결정되는 3단계 Demand수준과 동일한 구간에서 운전 중인 운전자의 정신적 작업부하에 따라 결정되는 3단계의 Effort수준간 부합여부에 따라 도로위험도를 평가하는 Demand/Effort모형(이하 D/E모형)을 제안하였다.

운전 중인 운전자의 피로나 교통안전상의 문제를 평가하기 위하여 운전자의 생체신호를 이용한 연구로는 Goran Kecklund 등(1993)이 뇌파(Electroencephalography)의 α, θ파를 이용하여 장거리 트럭 운전자의 Arousal Level를 측정하였고, Matthias Gobel 등(1998)은 ECG로 운전자의 작업부하를 평가하였다. Peter Richter 등(1998), John A. Stern 등(1994)은 HR, HRV, BR, SCR로 지방부도로에서 운전자 작업부하를 평가하는 연구를 수행하였다. 정봉조(2002)는 운전자의 뇌파신호를 분석하여 운전자 작업부하를 고려한 고속도로의 최장허용직선길이 결정에 관한 연구를 하였고 이외에도 운전자의 생체신호나 운전행태를 분석하여 도로위험도를 판단하려는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 도로 및 교통조건과 운전 중인 운전자의 생체신호를 분석하여 도로안전도를 평가하고자 개발된 D/E모형에서 제시된 가설의 통계적 검정과 운전자의 생체신호 분석을 통하여 결정된 각 Effort수준의 경계 값(Threshold)을 정함에 있어서 통계적 기법을 도입하여 보다 합리적인 D/E모형을 제안하고자 한다. 또한 교통사고예측모형을 이용하여 Demand수준을 결정하는 방법을 제시하고 실제 도로주행에서 얻어진 운전자의 생체신호를 이용하여 두 가지 D/E모형의 현장 적용성을 비교하여 모형의 타당성을 입증하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

공간적인 범위는 우리나라 고속도로 연장의 74.6%를 차지하고 있는 4차로 고속도로 중 영동고속도로, 서해안고속도로, 호남고속도로를 연구대상 노선으로 하였다. 각종 교통사고 데이터는 1998~2000년 3년 동안 고속도로 교통사고를 분석하였다. 내용적으로는 기존 D/E모형에서는 한국도로공사에서 관리하고 있는 교통사고 다발지점 중에서 도로기하구조를 감안하여 영동고속도로에서 각 2개 구간씩 High 및 Moderate Effort구간을 정하였고, 서해안고속도로에서 Low Effort구간을 정하였다. 그리고 생체신호데이터 처리를 위하여 FFT분석과 상대 파워스펙트럼분석을 실시하였으며 통계분석은 SPSS 프로그램을 이용하였다.

본 연구에서는 기존 D/E모형에서 제시한 운전자의 생체신호 파라메타 값들이 정규분포를 갖는다는 가설을 검정하기 위하여 정규분포 검정을 실시하였고, D/E모형 경계 값 설정에 있어 기존의 연구자 주관적 평가결과에 비해 통계적 기법을 사용하여 새로운 D/E모형을 제시하였다. 그리고 두 가지 D/E모형의 현장 적용성을 평가하기 위하여 호남고속도로 전주IC→신갈JCT 구간에서 비교실험을 실시하였다.

2. 기존 D/E모형의 Effort수준 결정방법의 검정

기존 D/E모형에서는 표 1, 표 2와 같이 정규분포를 가지고 있다고 가정한 운전 중인 운전자에게서 수집된 10개의 생체신호 파라메타를 토대로 Effort수준을 결정하였다. 데이터는 서해안선의 Low Effort구간에서 47명, 영동선 Moderate, High Effort구간에서 각각 48명, 44명 등 총 139명의 피 실험자 생체신호 데이터가 수집 · 분석되었다.

이를 토대로 Low Effort값은 영동고속도로의 교통사고 다발지점에서 얻은 생체신호 파라메타 값 중에서 모집단의 최소 값과 High Effort의 최소 값과 겹치지 않는 값과의 사이로 하였다. Moderate Effort값은 영동고속도로 기하구조가 열악하지만 교통사고가 적은 지점에서 얻은 생체신호 파라메타 값 중에서 모집단의 평균±0.5σ(표준편차)의 범위로 하고 있다. High Effort의 범위는 서해안 고속도로의 양호한 도로조건을 가진 구간에서 얻은 생체신호 파라메타 값 중에

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

표 1. 중추신경계의 파라미터별 경계 값

구분		기울기(slope)		
		High	Moderate	Low
좌측 전두엽 Left Frontal(β/α)	Lower Limit	0.043	−1.527	−13.986
	Upper Limit	26.716	3.957	−0.058
우측 전두엽 Right Frontal (β/α)	Lower Limit	−0.294	−2.270	−19.085
	Upper Limit	14.500	2.435	−0.309
중심엽 Central(θ)	Lower Limit	−31.410	−3.950	0.295
	Upper Limit	0.658	6.663	29.172
두정엽 Parietal(θ)	Lower Limit	−23.167	−5.350	0.786
	Upper Limit	0.706	5.157	32.032

표 2. 자율신경계의 파라미터별 경계값

구분		기울기(slope)			크기(amplitude)		
		High	Moderate	Low	High	Moderate	Low
안구 운동도 (EOG−H)	Lower limit	0.000	−0.056	−0.255	1.019	0.978	0.800
	Upper limit	0.255	0.054	−0.001	1.600	1.086	1.018
안구 운동도 (EOG−V)	Lower limit	−0.023	−0.077	−0.286			
	Upper limit	0.300	0.052	−0.025			
피부온도 (SKT)	Lower limit	−10.082	−0.351	−0.080			
	Upper limit	−0.086	0.340	6.296			
피부 전도도 (GSR)	Lower limit	0.000	−0.003	−0.031	0.105	0.876	0.985
	Upper limit	0.048	0.002	−0.001	0.983	1.049	1.083

서 모집단의 최대 값을 상한 값으로 하고 Low Effort의 상한 값과 겹치지 않도록 하한 값을 결정하였다. 그림 1은 Effort수준별 경계 값 범위를 결정하는 방법을 도식화 한 것이고 표 1과 표 2는 기존 D/E모형에서 Effort수준을 결정하는데 사용하는 운전자의 중추신경계와 자율신경계의 생체신호 파라미터별 경계 값을 나타낸 것이다.

기존 D/E모형의 생체신호 파라메타 값들의 정규성 검정을 위하여 Normality Test를 실시하였다. 그 결과 서해안선 Low Effort구간에서 수집된 10개의 파라메타 중에서 좌측전두엽 β/α값의 기울기, 우측전두엽 β/α값의 기울기, 중심엽 θ값의 기울기, 두정엽 θ값의 기울기 등 EEG 4개 파라메타만 통계적으로 정규분포를 나타내었고, 영동선 Moderate Effort구간, High Effort구간에는 좌측전두엽 β/α값의 기울기, 우측전두엽 β/α값의 기울기, 중심엽 θ값의 기울기, 두정엽 θ값의

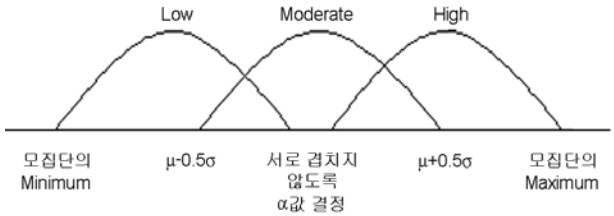


그림 1. 경계 값(Threshold Value) 결정방법

기울기, GSR 크기 1개 등 5개 파라메타만 정규분포를 나타내었다.

결과적으로 운전 중인 운전자에게서 수집된 생체신호 파라메타 값들의 정규분포특성을 가정한 기존 D/E모형에서의 Effort수준별 경계 값을 결정하는 방법은 수정이 필요할 것으로 판단된다.

3. 통계적 방법에 의한 Effort 수준 경계 값 결정

새로운 Effort수준을 결정하는 경계 값을 구하기 위하여 분석한 자료는 결과비교가 가능하도록 기존의 D/E모형의 Effort수준을 정하는데 사용한 139명의 운전자의 생체신호 데이터를 이용하였다. 먼저 모집단이 Low, Moderate, High Effort의 특성을 모두 갖도록 기존 D/E모형에서 Low Effort로 가정한 서해안선과 High 및 Moderate Effort로 가정한 영동선에서 수집한 생체신호 데이터를 모두 통합하였다. 모집단을 3개 수준으로 구분하기 위해서는 비슷한 성향을 갖는 데이터의 그룹으로 분류할 필요가 있다. 비슷한 성향을 가지고 있는 데이터를 그룹화 시키는데 사용되는 통계기법인 Cluster Analysis을 실시하였다.

그 결과 Low Effort로 가정한 군집의 통계 값에서 SKT, 좌측전두엽 기울기의 값은 관련 Sample수가 2개에 불과하여 통계 값으로 표현하기 어려웠고, EOG−H, −V 기울기의 값은 극단적으로 각각 −3.75, −3.625의 2가지 값만을 나타내었다. Moderate로 가정한 군집의 통계 값에서는 EOG−H, −V 기울기의 값은 모두 0을 나타내었다. High Effort로 가정한 군집의 통계 값에서는 GSR, 중심엽 기울기 값의 Sample수가 5, 2개에 불과하여 통계 값을 나타낼 수 없었다. EOG−H, V 기울기 값은 3.625, 3.75로 2가지의 값만을 나타내었다.

따라서 Sample수가 적은 SKT, GSR, 좌측전두엽 β/α, 중심엽 θ 기울기 값에 대하여 파라메타에서 제외하였고 EOG−H, GSR의 크기값과 EOG−H, EOG−V, 우측전두엽

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

β/α, 좌측전두엽 β/α 기울기 값 등 6개의 파라메타를 1차 선정하였다. Low, Moderate, High Effort수준에서 이들 6개의 각 파라메타의 수준별 군집의 성향이 같은지를 검증하기 위하여 Mann−Whitney분석을 실시하였다. 분석결과 EOG−V의 기울기 값을 제외하고는 각 수준별로 중앙 값이 95%의 신뢰수준에서 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다.

결과적으로 본 연구에서는 Effort수준을 결정하는 파라메타로 EOG−H, GSR의 크기 값과 EOG−H, 우측전두엽 β/α, 좌측전두엽 β/α 기울기 값 등 5개의 파라메타를 사용하기로 최종 결정하였다. Effort 각 수준별 경계 값의 결정방법은 파라메타 값들을 각각의 수준에서 95% 신뢰영역을 포함하는 범위가 되도록 평균값을 중심으로 표준편차의 2배 영역인 (평균)±2σ (표준편차)구간을 각각의 파라메타에 대한 Effort 수준으로 결정하였다. 표 3과 표 4는 Cluster Analysis에 의한 파라메타의 Effort수준별 경계 값을 나타낸 것이다.

표 3. 자율신경계 파라미터별 경계 값

구분		기울기(slope)			크기(amplitude)		
		High	Moderate	Low	High	Moderate	Low
안구 운동도 (EOG_H)	Upper limit	–	1.813 미만	−1.813 미만	30	18	6
	Lower limit	1.813 이상	−1.813 이상	–	23.2	11.6	0
피부 전도도 (GSR)	Upper limit				173	150	112.8
	Lower limit				151.8	126	76.2

표 4. 중추신경계의 파라미터별 경계 값

구분		기울기(slope)		
		High	Moderate	Low
우측 전두엽 Right Frontal (β/α)	Upper Limit	2.72	0.46	−0.33
	Lower Limit	0.52	−0.28	−1.51
두정엽 Parietal(θ)	Upper Limit	−0.92	0.77	4.18
	Lower Limit	−4.2	−0.87	0.83

4. 현장조사 및 데이터 처리

4.1 현장데이타 수집

4.1.1 조사구간 선정

새로 제시한 Effort수준에 의한 D/E모형과 기존 D/E모형의 현장 적용성을 비교평가하기 위하여 대상구간으로는 최근 5년간 도로기하구조의 변경이 비교적 적었던 호남고속도로 중에서 다음의 기준에 의거하여 선정하였다.

- 일반적인 고속도로 차로수인 4차로 고속도로를 대상으로 함
- 개통시기가 오래되어 주변 운전자에게 비교적 익숙한 도로
- 출퇴근으로 인한 주야별 교통량의 변화와 지 · 정체 발생이 적은 도로
- 연구기간 중 교통에 영향을 줄 수 있는 도로개량이 없는 구간
- 조사기간 동안에 특별한 도로작업계획이 없는 도로

현장 답사 및 기하구조, 교통량 자료 분석 그리고 위의 선정기준에 따라 호남고속도로 전주IC→회덕JCT 구간을 실험구간으로 결정하였다. 자료수집을 위한 구간길이는 생체신호 측정장비가 장비 부착 후 1시간 이내에서 신호수집이 효과적인 것을 감안하여 대략 78km구간으로 결정하였다. 표 5는 연구대상구간의 도로기하구조 현황을 나타낸 것이다.

표 5. 전주IC→회덕JCT 구간의 기하구조 현황

구분	곡선 구간	직선 구간	클로소이드 구간	종단경사 (%)	편경사 (%)	IC수
총연장 (km)	25	38	15	최대: 6.2 최소: −6	최대: 7 최소: −7	7개
비율 (%)	32	49	19			

4.1.2 피 실험자

운전에 따른 정신적 작업부하는 운전경력에 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 운전경력별 기존의 통계자료가 불충분하여 피 실험자 선정은 우리나라 운전자의 운전면허취득 기간에 의한 운전자의 비율에 따라 면허취득기간과 운전경력이 같은 10명의 피 실험자를 선정하였다.

4.1.3 실험장비

실험 차량은 갤로퍼 V6차량에 운전자 생체신호 수집을 위한 장비와 주변 환경 정보 모니터링 위한 장비를 부착하여 사용하였다. 운전자의 생체신호 수집장비는 운전자의 자율신경과 중추신경에서 나오는 신호수집에 가장 널리 사용 중인 MP100을 사용하였다. 운전자의 뇌파의 측정은 국제뇌파학회에서 정한 10~20 전극배치법에 따랐다. 생체신호 수집부위와 내용은 다음과 같다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

- 운전자의 뇌파
  - 전두엽(frontal lobe): F3-F7, F4-F8
  - 중심엽(central lobe): C3-Cz
  - 두정엽(parietal lobe : P3-Pz
- 피부전도도(GSR): 왼손의 검지와 중지에 전극을 부착
- 피부온도(SKT): 오른손에 전극 부착
- 안구운동(EOG): 눈의 좌우 움직임을 측정하기 위하여 오른쪽과 왼쪽 정수리 부위에 전극을 부착하였고, 눈의 상하 움직임을 측정하기 위하여 오른쪽 안구의 위쪽과 아래쪽에 각각 전극을 부착한다. 그림 2와 그림 3은 실험차량과 피 실험자의 모습이다.

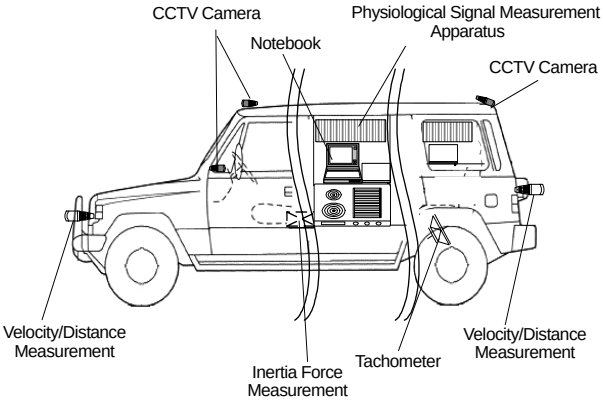


그림 2. 운전자 반응검지 차량

그림 3. 운전자 신호수집 예

4.1.4 실험방법

10명의 피 실험자들은 실험 전일 음주와 약물투여를 하지 말도록 사전 교육받았으며 실험실시 2시간 전에 식사를 하도록 조치하였다. 피 실험자가 도착하면 실험 중에 주의하여야 할 사항을 알려주었다. 센서를 부착하고 운전자가 충분히 센서에 적응하도록 시간을 주었다. 운전자가 충분한 적응시간을 갖은 후에 안정상태의 생체신호를 5분 이상 수집하였으며 육안 및 구두질문으로 안정상태를 확인하였다. 실험구간까지 10분 이상의 주행적응 시간을 제공함으로서 센서부착 및 차량운전에 대한 적응시간을 갖도록 하였다.

실험은 2002년 5월 20일~6월 21일 14:00~15:00 동안 실시하였으며 평일의 맑은 날을 대상으로 하였다. 실험차량의 주행속도는 95~100km/h를 유지토록 하였으며 가급적 2차로를 주행하고 필요시 추월을 하도록 하였다. 운전중에 라디오 청취나 잡담은 금하였다.

4.2 데이타 처리

수집된 데이터의 처리는 기존 D/E모형에서 사용하고 있는 생체신호 분석방법에 따라 우선 수집된 생체신호에서 신호노이즈를 제거하기 위하여 필터링 작업을 수행하였다. 필터링과정에 있어서 High Pass Filter는 0.5Hz, Low Pass Filter는 30Hz를 사용하였다.

그리고 FFT분석→파워 값 산출→상대 파워스펙트럼 값 계산(δ, θ, α, β파)→생체신호변수 계산(β/α, 상대에너지계수, root mean square)→생체신호 파라미터 값 계산(slope, amplitude)의 순서에 따라 진행하였다. 운전자의 Effort수준을 결정하기 위한 방법은 그 과정이 매우 복잡하기 때문에 수작업으로 분석하는 데에 어려움이 있었다. 이에 일련의 과정을 프로그램화하여 소프트웨어를 통해 쉽게 분석하도록 하였다.

5. 경계 값 검정

5.1 Demand수준 결정

D/E모형을 사용하기 위해서는 우선 해당도로의 Demand 수준을 알아야 한다. Demand수준을 결정하는 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 교통사고추정모형을 이용하였다. 사용한 평가모형은 연구대상구간으로 선정한 호남고속도로를 대상으로 개발된 강정규모형(2002)을 사용하였다. 이 모형은 도로기하구조에 따라 직선부, 곡선부, 완화곡선부로 나누고 위치별로 본선구간과 유·출입구간으로 나누어 총 6개의 교통사고추정모형식으로 구성되었다. 교통사고추정모형을 사용하여 연구대상구간인 전주→회덕구간의 Demand수준결정을 위하여 상용 도로설계검사 프로그램인 RD-2000을 사용하였다.

Demand수준을 결정하는 과정에서 실제로 중요한 것은

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

교통사고 예측치를 어떤 방법으로 위험도 수준과 연결시키느냐 하는 문제이다. 본 연구에서는 호남고속도로의 실제 교통사고를 토대로 사고발생건수에 대하여 도로기하구조 구분(직선부, 곡선부, 완화곡선부)에 따라 교통사고발생건수의 도수분포를 조사하였다. 그림 4는 완화곡선 본선부의 Curve Fitting 결과를 나타낸 것이다. χ축으로는 교통사고발생건수를 표시하고, y축은 각각의 교통사고건수가 발생한 도로의 단위구간의 수를 나타낸 것이다. 6개의 교통사고추정모형에 따라 교통사고건수의 도수분포를 조사한 바에 따르면 (식 1)과 같이 지수함수의 형태로 나타낼 수 있었다. 표 6은 지수함수로 표현되는 회귀식의 값을 나타낸 것이다. 6개의 도로구간에서 통계적으로 만족할 만한 결과를 나타내고 있다.

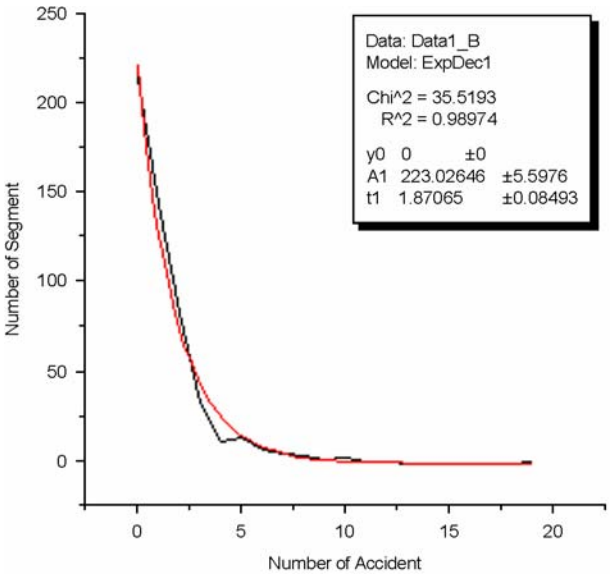


그림 4. 위험도 등급 결정을 위한 사고건수 회귀결과

$$y = y_0 + A_{1e}^{\frac{-x}{t1}} \quad \text{(식 1)}$$

여기서, y = 사고 수에 해당되는 구간 수
y_0 = y 절편
A_1 = 지수함수의 너비계수
t_1 = 상수

Demand수준결정은 그림 4과 같이 나타나는 사고건수별 단위구간의 수의 변화에 대하여 가중치를 고려하여 동일한 면적을 갖는 추정사고건수에 대하여 5등분하는 범위를 결정하고자 한다. 이를 위해서 먼저 표 6에서 제시된 6개의 지수회귀식을 적분하여 각각의 그래프가 차지하는 면적을 도출하였으며 이를 균등 5등분하여 표 7에 표시된 바와 같이 이에 해당되는 그림 4의 χ축에 해당되는 사고건수의 값을 결정하였다. 5등분한 이유는 한국도로공사의 교통사고취약지점 선정기준의 하나인 노선 평균사고율의 2배가 되는 구간이 전체 노선연장의 약 20%에 달한다는 결과에 따른 것이다.

표 6. 도로구간별 Curve Fitting의 회귀식

구분		y_0	A_1	t_1	χ	R_2
직선부	본선	0	63.78186	3.77485	5.76481	0.97947
	유출입	0	7.99707	5.53358	1.22529	0.80287
곡선부	본선	0	97.7852	2.93292	21.85359	0.96019
	유출입	0	8.3765	4.48219	0.68279	0.87833
완화곡선부	본선	0	223.02646	1.87065	35.5193	0.98974
	유출입	0	20.11962	2.10397	3.31715	0.92477

표 7. 6개 지수회귀식의 균등 5등분에 따른 χ축 값

구분		x1	x2	x3	x4	x5
직선부	본선	0.86(49.2)	1.98(98.4)	3.58(147.6)	6.42(196.8)	(246.0)
	유출입	1.24(8.9)	2.85(17.8)	5.12(26.7)	9.03(35.6)	(44.5)
곡선부	본선	0.67(58.4)	1.53(116.8)	2.77(175.2)	4.94(233.6)	(292.0)
	유출입	1.06(7.9)	2.45(15.8)	4.47(23.7)	8.26(31.6)	(39.5)
완화곡선부	본선	0.42(84.5)	0.97(169.0)	1.75(253.5)	3.11(338.0)	(422.5)
	유출입	0.50(9.0)	1.17(18.0)	2.14(27.0)	4.00(36.0)	(45.0)

*( ): 각각의 5등분된 면적(사고건수×단위구간 수)값

위의 결과에 따라 호남고속도로에 대한 위험도 등급설정은 표 7에서 x_1 이하는 Low Demand수준, x_2~x_4 구간은 Moderate Demand수준, x_5 이상은 High Demand수준으로 구분하였다. RD-2000에 수준별 경계 값을 입력하여 호남고속도로 전주IC→회덕JCT 구간에서 도로기하구조별로 각각의 Demand수준을 나타내었다. Low demand는 29개소, Moderate demand는 135개소, High demand는 14개소로 나타났다. Moderate demand는 D/E모형의 위험도 분석에서 사용하지 않으므로 제외하였고 Low demand구간과 High demand구간의 위치는 표 8과 같다.

5.2 도로위험도 평가

5.2.1 기존 Effort수준의 경계 값 적용

각 위치별로 Demand수준을 결정한 호남선의 전주→회덕 구간에 대하여 기존의 10개의 파라메타 값에 대한 Effort 수준 경계 값에 따라 도로위험도를 평가하였다. 각 위치별 Effort수준은 그림 5의 흐름에 따라 프로그래밍된 Effort수

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

표 8. Low 및 High Demand구간으로 선정된 구간

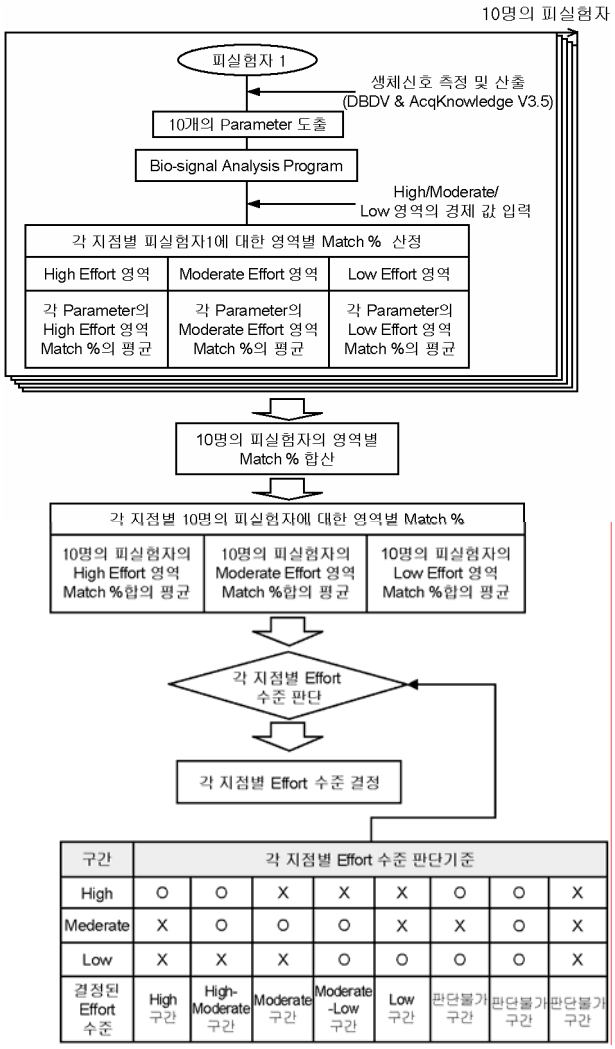
(회덕기점)

Low Demand구간	High demand구간
29개소	14개소
1.5~1.6, 6.0~6.2, 8.7~9.1, 10.4~10.9, 10.9~11.1, 18.8~19.6, 26.6~27.0, 27.0~27.2, 27.2~28.2, 28.2~28.3, 28.7~28.9, 28.9~29.7, 32.8~32.9, 34.9~35.0, 47.5~48.0, 49.3~49.4, 50.2~50.4, 51.8~52.0, 53.4~53.5, 55.9~56.0, 61.2~61.3, 62.5~62.7, 62.7~63.2, 64.5~64.7, 66.5~67.8, 69.5~69.7, 72.3~73.1, 3.4~74.7, 75.7~77.7	8.0~8.3, 16.7~16.9, 22.7~23.2, 38.2~39.4, 40.9~41.8, 41.8~42.0, 42.0~44.1, 45.6~45.8, 47.4~47.5, 48.0~48.2, 55.5~55.9, 56.0~56.5, 56.5~56.7, 62.1~62.5

준 판별S/W에서 결정되었다. 절차는 첫째, 피 실험자의 생체신호로부터 각 위치별로 10개의 파라메타 값을 추출하고 각 파라메타의 High, Moderate, Low Effort수준을 결정하여 각 Effort수준별로 몇%의 파라메타가 포함되는지를 계산한다. 둘째, 모든 피 실험자의 Effort수준별로 포함된 파라메타를 합산·평균하여 특정지점별로 각 Effort수준에 포함된 파라메타의 수(%)가 도출된다. 셋째, 조사대상구간에서 각 지점의 Effort수준별 파라메타의 match %를 높은 순으로 정리하여 상위 20%에 포함되는 위치를 해당된 Effort수준으로 결정한다. 이 때 결정된 Effort수준은 High Effort구간, High-Moderate Effort구간, Moderate Effort구간, Moderate-Low Effort구간, Low Effort구간으로 표현되고 이에 포함되지 않으면 판단불가구간으로 결정된다. 이는 전문가진단방법(Expert Diagnostic Approach)에 따른 것이다.

그림 5의 절차에 따라 결정된 호남선 전주IC→회덕JC 구간의 각 지점별 Effort수준 결과값을 이용하여 High Demand구간에서 도로위험도를 평가한 결과 표 9와 같이 나타났고, Low Demand구간에서는 표 10과 같이 나타났다. 판별결과 Mismatch는 도로가 위험하다는 것을 의미한다.

High Demand구간으로 결정된 14개 구간 중에서 mismatch구간으로 평가된 구간은 3개 구간이다. 이들 위치에 대하여 최근 5년간의 실제 사고건수와 비교하여 본 결과 이들 구간은 실제 사고건수가 높은 구간으로 도로위험도가 높게 평가된 구간이었다. Low Demand구간으로 결정된 29개 구간 중 mismatch구간으로 평가된 구간은 6개 구간이다. 마찬가지로 이들 위치에 대하여 최근 5년간의 실제 사고건수와 비교하여 보았다. 비교결과 실제 사고가 나지 않은 구간을 3개소를 포함하고 있었다. 기존의 D/E모형에 의한 전주IC→회덕JCT(87km)구간에서 교통사고의 위험성이 높은 구간으로 9개 구간을 예측하였으며 실제로 교통사고가 발생하지 않는 구간은 3개소로 나타났다. 9개소의 Mismatch구간에서 교통사고가 발생한 비율은 66.7%이고, 34개 Match구간에서 교통사고가 발생하지 않은 비율은 41.2%로 나타나고 있어 Mismatch로 판별된 구간에서의 D/E모형의 신뢰도는 높고 Match로 판별된 구간에서의 D/E모형의 신



주) 각 지점의 Effort수준 Match %를 조사대상 전체에서 높은순으로 나열 하였을 때 상위 20%에 해당하는 경우(○), 그 이하인 경우(×)

그림 5. Effort수준 결정 방법

표 9. High Demand구간의 도로위험도 판별 결과

구간이정	Effort수준	D/E모형 판별결과	실제 사고건수
47.4~47.5	Moderate-Low	Mismatch	7
55.5~55.9	Low	Mismatch	2
62.1~62.5	High, Low	Mismatch	7

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

표 10. Low Demand구간의 도로위험도 판별 결과

구간이정	Effort수준	D/E모형 판별결과	실제 사고건수
27.2~28.2	High	Mismatch	1
32.8~32.9	High-Moderate	Mismatch	0
55.9~56.0	High-Moderate	Mismatch	5
62.7~63.2	High	Mismatch	0
72.3~73.1	High	Mismatch	0
73.4~74.7	High	Mismatch	9

뢰도는 비교적 낮은 것으로 나타났다.

5.2.2 Cluster Analysis에 의한 Effort수준 경계 값 적용

Cluster분석에 의하여 결정된 운전자의 Effort수준 경계값에 따라 전주IC→회덕JCT(87km)구간의 171개소 구간에 대한 Effort수준 판별은 그림 5의 절차에 따라 수행되었다. 그 결과 Low Effort로 판정된 구간은 2개소, High Effort로 판정된 구간은 25개소로 나타났다. 이들 구간에 대하여 Demand수준과 비교한 결과 Low Demand구간에서 Mismatch로 판정된 구간이 없었으며, Low Demand구간에서는 Mismatch로 판정된 구간이 표 11과 같이 7개소로 나타났다.

실제 교통사고 데이터와 비교한 결과 Low Demand구간에서 4개소가 실제 교통사고가 발생한 구간과 일치하였고 나머지 3개 구간에서는 교통사고가 발생하지 않았다. Mi-

표 11. Low Demand구간의 도로위험도 판별 결과

구간이정	Effort수준	D/E모형 분석결과	실제 사고건수
53.4~53.5	High	Mismatch	1
61.2~61.3	High	Mismatch	1
62.5~62.7	High	Mismatch	0
62.7~63.2	High	Mismatch	0
64.5~64.7	High	Mismatch	2
66.5~67.8	High	Mismatch	0
69.5~69.7	High	Mismatch	9

smatch구간에서 교통사고가 발생한 비율은 57.1%이고, 36개 Match구간에서 교통사고가 발생하지 않은 비율은 38.9%로 나타나고 있어 Mismatch로 판별된 구간에서의 D/E모형의 신뢰도는 상당히 높은 대신에 Match로 판별된 구간에서의 D/E모형의 신뢰도는 비교적 낮은 것으로 나타났다.

6. 결론 및 향후 연구방향

6.1 결 론

교통사고에 있어서 발생원인의 81.1%가 운전자 요인과 관련되어 있다는 점에서 인적요인을 포함하는 도로위험도 평가방법인 D/E모형의 의의는 매우 크다고 할 수 있다. 아직은 충분한 데이터 수집과 연구방법론이 미흡하여 현장의 적용성은 떨어진다고 볼 수 있지만 향후 지속적인 연구를 통하여 보완된다면 시간과 비용측면에서 도로위험구간을 판별하는 실질적이고 효과적인 기법이 될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 기존 D/E모형이 갖고 있는 논리적 한계를 극복하기 위하여 Effort수준을 정하는데 있어서 통계적 기법을 적용하였고 교통사고추정모형을 이용한 Demand수준 결정방법을 제시하였다. 그리고 실제 도로현장 데이타를 수집 분석하여 2가지 D/E모형에 대하여 현장 적용성을 비교평가하였다. 본 연구를 통하여 얻은 성과는 다음과 같다.

첫째, Effort수준의 경계 값을 결정하는데 있어서 통계적 기법을 적용하여 보다 과학적으로 D/E모형을 정립하였고 일반성을 갖도록 개선하였다.

둘째, 기존의 D/E모형에서 개념적으로 제시한 Demand수준에 대하여 교통사고추정모형을 이용한 Demand수준 결정방법을 제시하여 D/E모형을 실제 도로에 적용하여 도로위험도를 평가할 수 있도록 하였다.

셋째, 2가지 D/E모형을 비교 평가한 결과, 기존 D/E모형은 9개 구간, Cluster분석방법에 따른 새로운 D/E모형은 7개 구간을 도로위험구간으로 판정하였고 실제 교통사고가 발생한 구간은 각각 6개 구간, 4개 구간으로 나타났다.

결과적으로 기존의 D/E모형과 Cluster분석에 따른 D/E모형 비교 시 도로위험도를 판정하는 결과에는 큰 차이가 없었으나 후자는 운전자의 생체신호 특성에 맞는 통계적 기법을 적용하여 Effort수준을 결정하는 경계 값을 정하는데 있어서 보다 과학적이고 합리적인 근거를 제시할 수가 있었다.

6.2 향후 연구과제

D/E모형은 도로위험도를 평가함에 있어서 인적요인을 반영하는 선구적인 연구측면에서 큰 평가를 받을 수 있다고 생각한다. 그러나 선행연구의 부족과 기존 D/E모형의 불확실성으로 과학적이고 실질적인 연구성과를 내는데 부족함이 많았다. 특히, Effort수준을 결정함에 있어서 주관적 판단기준인 전문가 진단방법을 적용한 것과 Grouping된 Effort수준에서 표본수의 부족으로 파라메타에서 제외된 EOG-H, 우측전두엽 β/α값은 타 연구에서는 효과적인 분석파라메타로 사용된 점을 고려하여 추가적인 Data를 축적과 이에 대

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

한 재분석을 실기하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

그리고 Effort수준의 경계 값을 결정함에 있어서 운전자의 생체신호의 개인별 반응차이와 측정 시 교통조건의 차이를 고려하여 보다 탄력적으로 경계 값을 적용할 수 있는 방법을 찾는데 노력해야 할 것으로 생각한다.

참고 문헌

도철웅(1997), *교통공학원론(하편)*, p.687.

한국도로공사(2001), *2000년 고속도로 교통사고 통계*, p.15.

정봉조(2002), 운전자 작업부하를 고려한 최장허용직선길이 결정에 관한 연구, *대한교통학회지* 제20권 제2호.

경찰청(2001), 면허취득기간별 소지자수.

강정규 등(2002), 고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발, *대한교통학회지*.

정봉조, 김정룡 외(2000), 운전자 생체신호 D/B구축 및 신호해석 S/W개발.

Blumenthal, M., Dimension of the traffic safety problem, *Traffic Safety Research Review*, pp.7-12, 1968, 12.

Wilson, J. R. and Corlett, E. N., *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology* 2nd, Taylor & Francs, pp.864-884, 1995.

Fuller, R., The Task-Capability Interface Model of the driving process. *Recherche Transports Securite*, 66, 47-59, 2000.

Jung-Yong Kim etc, The Development of Demand-Effort Model To Eveluate the Psychophysiology Response of Drivers on Highway, *Proceeding of the 4th International Conference on Psychophysiology in Ergonomics*, 2002.

Bong-Jo Chung etc, A Study on Ananysis Methodology of Drivers' Psycho-Physiological Signal to Eveluate Road Safety Level, *EAST Jounal*, 2003.

◐저자 소개◑

❖ 정 봉 조 ❖

한국도로공사도로교통기술원 책임연구원

❖ 장 명 순 ❖

한양대학교 교통시스템공학과 교수

❖ 김 정 룡 ❖

한양대학교 정보경영공학과 교수

❖ 박 재 완 ❖

한국도로공사 도로교통기술원 연구원

논 문 접 수 일(Date Received) : 2004년 04월 22일

논문게재승인일(Date Acepted) : 2004년 12월 28일

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.