

# 운전 시뮬레이터를 이용한 고령자의 운전행동 특성 분석

민병찬\*\*† · 민윤기\* · 김영선\*\* · 이범수\*\* · 김영수\*\* · 민수영\*\* · 김보성\* · 강진규\*\*

\*충남대학교 심리학과  
\*\*한밭대학교 산업경영공학과

## Driving Behavior Characteristic Analysis of an Older Driver on a Driving Simulator

Byung-Chan Min\*\*† · Yoon-Ki Min\* · Young-Sun Kim\*\* · Beum-Soo Lee\*\* · Young-Su Kim\*\*  
Su-Young Min\*\* · Bo-Seong Kim\* · Jin-Kyu Kang\*\*

\*Dept. of Psychology in Chungnam National University.

\*\*Dept. of Industrial and Management Engineering in Hanbat National University.

Using driving simulator, we analyzed the driving behavior of an older driver on intersection and measured the psychological load to HRV. As a results, older drivers started to enter the more complex intersection on a great distance and on low velocity for safety driving. On the other hand, the value of HRV would be lower on more complex intersections. It suggested that an older driver allowed for his own losses of physiological and cognitive function and recognized low level of driving confidence relatively.

**Keywords** : Heart-Rate Variability, Driving Simulator, Driving Behavior, Older Driver

### 1. 서 론

2001년 통계청 자료에 따르면, 65세 이상인 고령 운전자들의 자동차 운전면허 소지 비율이 1999년에 8.2%인 반면, 2010년에는 21.1%인 1,061천 명에 이르고 2020년에는 2,330천 명인 33.8%에 도달할 것으로 예측되고 있다. 이와 같이 고령 운전자가 급속도로 증가함에 따라 교통사고로 인한 이들의 사망자 수를 살펴보면, 한국을 제외한 OECD 가입국들은 인구 10만 명당 사망자 수가 15.5명인 반면 한국은 59.3명으로 3.8배에 해당된다. 도로 유형별로 구분하여 고령 운전자의 교통사고를 살펴보면, 커브, 고가도로 등의 도로에서 비고령층에 비

해 더 많은 사고가 발생하며, 특히 교차로에서 고령 운전자의 사고가 많이 나타난다.

교차로 유형에서 고령 운전자의 사고가 많다는 것은 교차로 상황이 가지고 있는 특성과 더불어 고령 운전자의 특성에서 그 원인을 찾을 수 있다. 먼저 교차로 상황은 정확하고 빠른 판단이 요구되는 매우 복잡한 교통 상황이라는 것이다. 만일 이 도로에서 좌회전을 할 때, 자신의 차량이 진입하는 차선으로 직진하는 차량이나 바로 옆 차선의 통행 차량의 움직임을 파악해야만 한다. 이 과정에서 요구되는 것이 바로 정확한 판단이며, 정확한 판단을 위해서 현재의 교통 상황에 주의를 기울여야만 안전하게 교차로를 벗어날 수 있게 된다. 그러

논문접수일 : 2008년 08월 21일    논문수정일 : 2009년 01월 30일    게재확정일 : 2009년 02월 03일

† 교신저자 bemin@hanbat.ac.kr

※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2007-000-20070-0).

나 고령 운전자들이 주의력과 대처능력이 다른 연령대의 운전자들에 비해 상대적으로 떨어지기 때문에 교차로의 사고율이 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 고령자들의 교통사고 유형에 대한 통계자료가 이러한 점을 뒷받침하고 있다. 이 자료에 따르면, 고령 운전자의 사고유형은 중앙선 침범이 10.1%, 신호위반이 9.5%, 교차로 운행방법 위반이 5.9%, 안전거리 미확보 4.9% 등의 순으로 나타나 교통 시설 및 정보에 대한 정확한 인식이 고령 운전자들에게 결여되어 있음을 시사하고 있다 (도로교통안전관리공단, 2000).

長山(1982)은 운전자가 교통환경에 적응하기 위해서 가장 필요한 것으로 교통상황에 대한 정확한 지각 및 인지라고 주장하였다. 운전 중에 제공되는 여러 정보는 개인의 경험, 지식, 통찰력 등의 예측체계와 동기, 흥미와 같은 동기체계에 의해서 먼저 처리된다. 이러한 처리과정에서 얻어진 결과가 교통상황에 대한 객관적 판단 및 주관적 상황인식에 영향을 미치게 되는 것이다. 따라서 운전 중에 운전자가 접하게 되는 상황 정보는 단순히 수동적으로 전달되는 것이라기보다는 운전자가 필요한 정보를 적극적으로 선택하는 행위에 해당될 수 있다.

이와 같은 내용들을 전체적으로 고려해본다면, 점차 늘어가는 고령 운전자 그리고 그와 더불어 증가하는 이들의 교통사고를 줄일 수 있는 방법을 찾는 것이 우선적으로 요구된다. 이를 위해서 본 연구는 고령 운전자에게 있어 가장 취약한 것으로 여겨지는 교차로 상황에서 이들의 운전 수행과 동시에 심박 변이도의 변화를 살펴보고자 하였다.

## 2. 교차로 상황에서 고령자의 운전행동

Hakamies-Blomqvist와 Henriksson(1999)은 고령 운전자에게 있어 교차로 또는 복잡한 교통 상황이 교통사고를 유발하는 상황임을 강조하고 있으며, 연령이 증가함에 따라 교통사고 역시 증가하는 경향성을 보인다고 주장하였다. 이는 고령 운전자가 대항차(반대 차로에서 자신의 차량과 진행방향이 정반대인 차량)와의 거리, 대항차가 현 위치에 도달하는 시간 판단이 용이하지 않기 때문에 나타나는 것으로 보았다.

이외에도 고령 운전자를 대상으로 한 몇몇 연구에서 표지판 인식, 작업기억, 교통신호 준수, 주의, 그리고 책임감 등 운전 중 중요한 요인들이 연령증가와 함께 감소하는 경향을 나타냈다(이순철, 2006; Lee, Cameron, and Lee, 2003). 이 역시 교차로 상황이 제한된 시간 내에 정보를 처리하고, 처리된 정보에 기반하여 의사를 결정

해야 하는 인지적 부하 상황으로 볼 수 있기 때문에 나타난 것으로 보았다. 이에 따라 고령 운전자들은 이 상황에서 연속적인 운전 행동의 실수를 유발하는 것이다 (Gurrier, Manivannan and Nair, 1999).

한편 Staplin, Lococo와 Sim(1990)은 특정한 시각 자극이 제시되는 상황에서 인식된 정보를 바탕으로 운전을 할 때, 고령자가 젊은 성인에 비해서 선택 반응시간이 느려지는 결과를 제시하였다. 이는 고령 운전자가 특정 상황에서 연속적인 운전조작을 수행할 때, 일련의 행위들을 적절하게 조직화하지 못해 결국 부적절한 결정을 내림으로 발생되는 결과로 보았다. 주로 대항차의 현 위치 도달 시간, 속도 등의 판단 착오가 나타나며, 접근하는 차량의 속도가 증가하는 경우에 이 차량에 대한 속도 판단 시간이 길어지는 결과들이 그 예라 할 수 있다.

이순철, 김종희, 오주석과 김인식(2005)은 고령 운전자와 청소년 운전자의 교통사고를 비교 분석한 결과, 고령 운전자가 좌회전 상황에서 더 많은 사고를 일으키는 것으로 나타났다. 교차로 상황에서 운전자는 선행 차량과의 안전거리 유지와 동시에 주행신호 주시, 주행 방향과 그 이외의 도로에 제시되는 정보들을 처리해야만 한다. 그러나 고령 운전자가 복잡한 도로 상황에서 판단의 오류를 범하게 됨을 고려할 때, 청소년 운전자들보다도 더 위험한 조건에서 좌회전을 수행하는 것으로 보았다. 좌회전 선택 시 대항차의 속도에 대한 결과를 살펴보면, 고령 운전자는 대항차의 평균속도가 92.41km/h일 때 좌회전을 선택하는 반면 청소년 운전자는 대항차의 평균속도가 71.03km/h일 때 좌회전을 선택하였다.

이와 같은 일련의 연구들은 교차로 상황이 고령 운전자에게 있어 위험한 상황임을 반복적으로 검증하고 있다. 그러나 이러한 연구 결과들은 실제 운전 상황의 결과가 아닌 특정 시나리오를 컴퓨터 화면으로 제시한 후 그에 대한 반응으로서 나타난 결과라는 제한점을 가지고 있다. 한편으로는 실제 차량을 이용한 연구가 가장 타당성이 높을 수 있으나, 상해 및 생명과 직결되는 위험요인을 배제하기가 어렵다는 또 다른 제한점을 가지고 있다. 이러한 점 때문에 운전 시뮬레이터를 사용한 연구는 이 둘의 제한점을 일부 상호 보완해줌으로써 실제와 보다 근접한 결과들을 도출해 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 교차로 상황에서의 고령 운전자의 운전 수행(교차로 진입시 주행 차량의 속도 및 진입시간, 대항차와의 거리)을 측정함과 동시에 각 상황에서 실시간으로 심박 변이도를 측정하였다.

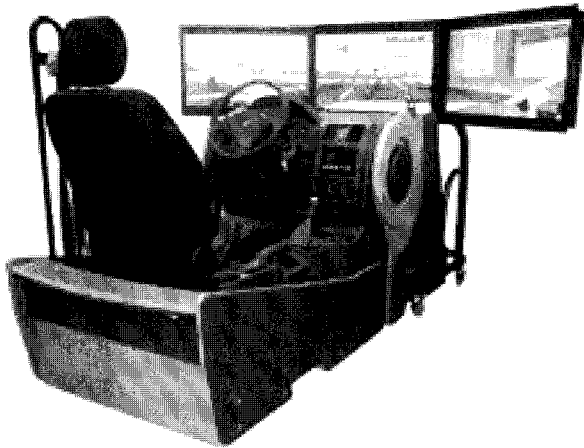
### 3. 연구방법

#### 3.1 실험 참가자

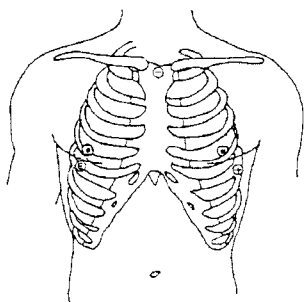
대전시에 거주하며, 운전 경력이 13년 이상인 65세 이상의 노인 9명이 실험에 참가하였다. 이들의 평균 연령은 70.11(±2.15)세였으며, 모니터에 제시되는 자극을 지각하는 데 문제가 없는 정상 혹은 교정시력을 가지고 있었다.

#### 3.2 실험 도구 및 측정 변수

운전 시뮬레이터는 Gridspace Co.에서 제작한 GDS-300S로 3대의 32인치 LCD 모니터를 통해 운전시 필요한 정면과 좌/우 환경 정보들을 제공하도록 구성되었다. 또한 차량 모델은 현대 자동차의 '클릭'모델로서 운전장치(예: 핸들, 가속페달, 브레이크 페달 등)와 표시장치(예: 방향 지시등, 속도계, RPM 미터 등)는 실제 차량과 동일하였다<그림 1>. 자율신경계 측정장치는 Biopac System Inc.에서 제작한 MP 100 series가 사용되었으며, 자료



<그림 1> 운전 시뮬레이터 환경



- 전극장착부위
- + 좌흉부 V<sub>5</sub>
- 흉골 최상부
- △ +전극과 대칭적인 우흉부

<그림 2> CM5 유도법(Miyake, 2001)

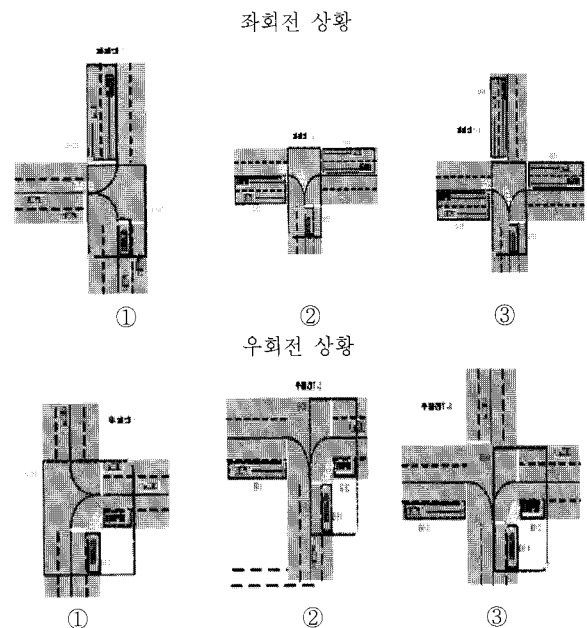
입력 및 분석은 AcqKnowledge(Ver. 3.8.1)를 통해 이루어졌다. 심전도(ECG)는 reference 전극이 + 전극과 대칭되는 우흉부에 부착되고, +/- 전극이 각각 좌흉부와 흉골 최상부에 부착되는 CM5 유도법을 통해 측정되었다<그림 2>.

ECG의 측정변수는 심박변이도(Heart-Rate Variability : 이하 HRV)로, HRV의 주파수 성분 중 교감 신경계의 활동을 나타내는 0.04~0.15Hz의 저주파(LF) 성분 값을 부교감 신경계의 활동을 나타내는 0.15~0.4Hz의 고주파(HF) 성분 값으로 나눈 LF/HF 비의 값을 의미한다. LF 성분 값은 운전 거리와 관계가 높으며, 운전자의 상태를 가장 잘 나타내는 반응지표로 활용된다.

#### 3.3 실험 절차

실험을 실시하기 전, 실험 참가자들은 ECG 전극을 부착하고 운전 시뮬레이터의 적응을 위해서 약 3분 동안의 연습 운전을 실시하였다. 본 실험은 교차로 상황에서 좌회전과 우회전 조건을 각각 나누어 10분씩 주행하였으며, 각 조건의 실험 순서는 참가자에 따라 역균형화(counter balancing)하였다.

각 교차로 조건내의 주행 시나리오는 <그림 3>와 같이 좌회전과 우회전 모두 3조건씩 제시되며, 각 조건당 8회씩 발생하여 좌회전 24회, 우회전 24회, 총 48회의 회전 조건이 제시되었다. 그러나 운전자의 차량 속도와 시간은 운전자마다 다르기 때문에 시나리오 상에서 자연스럽게 주행하는 타차량, 즉 대항차와의 조건이 부합되는 38회의 조건만을 선정하여 분석하였다.



<그림 3> 교차로 조건에서 좌/우회전 상황

### 4. 결과 및 결론

#### 4.1 운전행동

교차로 상황에 진입하는 차량의 속도, 거리, 시간을 측정하여 평균과 표준편차를 산출하였다<표 1>, <표 2>, <표 3>. 교차로 내 각 조건별로 고령 운전자의 운전행동 특성이 차이가 있는지를 살펴보기 위해 반복측정 변량분석을 실시하였다. 그 결과, 차량의 진입 속도에서는 교차로 조건별로 차이가 유의한 것으로 나타났으나 [ $F_{(5,32)} = 4.29, p < .05$ ], 진입거리와 시간에서는 그 차이가 유의하지 않은 것으로 나타났다. 각 회전 조건별로 구분하여 진입 속도를 살펴보면, 우회전에서는 우회전① < 우회전③ < 우회전②의 순으로 나타났으며, 좌회전에서는 좌회전③ < 좌회전② < 좌회전①의 순으로 나타났다. 한편 진입거리는 그 차이가 유의하지 않았지만, 회전 유형별로 볼 때 우회전(128.50m)보다 좌회전(216.99m)시 고령 운전자들은 더 먼 거리에서 접근하는 것을 알 수 있다. 회전 조건별로는 좌/우회전 모두 ①조건보다 ②, ③조건에서 진입거리가 먼 것으로 나타났다. 이와 더불어 진입시간도 그 차이가 유의하지는 않았지만, 좌/우회전 모두 ②, ③조건에 비해 ①조건

진입 시간이 짧은 것으로 나타났다.

<표 3> 교차로 조건에서 추정된 진입시간(sec)

교차로	유형	평균시간	최대 값	최소 값	표준편차
우회전	1	3.22	3.82	2.09	.69
	2	9.55	17.99	1.07	7.03
	3	8.46	14.94	1.06	4.26
	평균	7.88	17.99	1.06	5.17
좌회전	1	7.69	8.67	6.71	1.39
	2	15.49	15.49	15.49	0.00
	3	16.76	25.35	6.82	7.74
	평균	14.34	25.35	6.71	7.18

이러한 결과는 이순열, 이순철과 김인식(2006)의 연구에서 고령 운전자가 회전을 선택하는 시간이 다른 연령에 비해 길다는 것을 지지하는 결과이다. 이는 고령 운전자가 회전하는 상황과 같은 특정 상황에서 운전에 대한 확신이 낮기 때문에 보다 신중한 운전을 하게 됨을 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 한편으로는 회전시 진행 속도가 약 57km/h인 점을 고려한다면, 교차로 진입시 차량의 속도를 줄이지 않는다는 결과에 도달할 수도 있다. 일반적으로 고령 운전자의 조심스럽고 신중한 운전 행동이 운전에 대한 위험을 감소시킬 것이라는 생각과는 대치되는 결과로 해석할 수 있다.

<표 1> 교차로 조건에서 진입속도(km/h)

교차로	유형	평균속도	최대 값	최소 값	표준편차
우회전	1	42.88	60.06	27.49	15.95
	2	65.94	76.17	59.21	8.38
	3	57.96	60.08	31.04	7.09
	평균	57.57	76.17	27.49	11.68
좌회전	1	60.01	60.01	60.00	.007
	2	60.00	60.00	60.00	0.00
	3	54.76	60.10	44.94	7.37
	평균	56.73	60.10	44.94	6.20

#### 4.2 자율 신경계 반응

교차로 상황에 따른 고령 운전자의 HRV 평균 값과 표준편차를 산출하였다<표 4>. 교차로 내 각 조건별로 고령 운전자의 HRV 값의 차이가 있는지를 살펴보기 위해 반복측정 변량분석을 실시하였다. 그 결과, 각 조건별 HRV 값의 차이는 유의하지 않았으나, 우회전 조건보다는 좌회전 조건에서 HRV 값이 낮은 것으로 나타

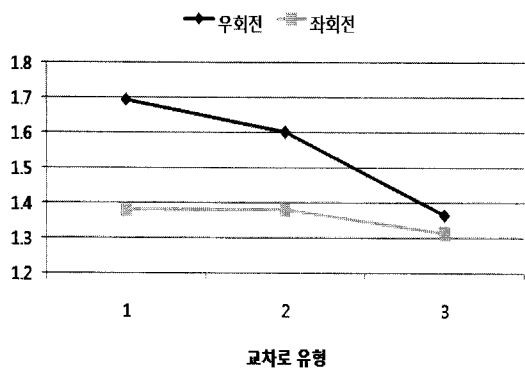
<표 2> 교차로 조건에서 추정된 진입거리(m)

교차로	유형	평균 거리	최대 값	최소 값	표준편차
우회전	1	36.03	113.31	23.88	12.30
	2	161.29	299.96	22.46	113.31
	3	140.26	249.30	9.14	72.35
	평균	128.50	299.96	9.14	23.19
좌회전	1	128.17	144.56	111.77	23.19
	2	258.17	258.17	258.17	0.00
	3	244.28	342.83	113.78	90.96
	평균	216.99	342.83	111.77	88.50

<표 4> 교차로 조건에서 HRV 변화

교차로	유형	HRV(LF/HF)	표준편차
우회전	1	1.6934	1.383
	2	1.601	1.194
	3	1.365	1.052
	평균	1.536	1.187
좌회전	1	1.381	1.214
	2	1.380	.926
	3	1.313	1.327
	평균	1.362	1.153

났다. 우회전보다는 좌회전 조건이 상대적으로 복잡한 도로 환경임을 감안한다면, 교감 신경계의 활성화 수준이 높아지면 이와 더불어 LF/HF의 비인 HRV의 값은 높아져야 한다. 그럼에도 불구하고 낮아진 것은 또 다른 해석이 요구되는 현상이라 할 수 있다. 각 유형별로 살펴보면 더라도 좌/우회전 모두에서 상대적 복잡성이 낮은 ①조건에 비해 ②, ③조건에서 HRV의 값이 낮은 결과를 보여주었다.



〈그림 4〉 교차로 유형에 따른 HRV 변화

이러한 결과는 상대적으로 복잡한 도로 환경에 진입하는 경우, 고령 운전자는 보다 먼 거리에서 접근하며 주변 상황을 살피고 판단하여 진행하는 ‘느긋하고 배려 있는 운전 스타일’을 구현하기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있다. 이는 고령 운전자의 운전 행동 결과에서도 알 수 있듯이 운전자의 확신 수준이 낮기 때문에 복잡한 환경에서 겪게 되는 심리적 부담을 감소시키려는 고령 운전자들의 보상행동의 결과로 사료된다.

### 5. 논 의

본 연구는 운전 시뮬레이터를 사용하여 교차로 상황에서 고령 운전자들의 운전행동과 그에 따른 HRV를 살펴보았다. 그 결과, 고령 운전자는 복잡한 도로 환경일수록 보다 안전한 운전을 위해 먼 거리에서 진입을 시도하며, 낮은 속도로 진입하는 것으로 나타났다. 한편 HRV 결과에서는 보다 복잡한 도로 환경에 진입할수록 HRV 값은 낮아지는 경향을 보였다. 이는 고령 운전자들이 자신의 신체적, 인지적 기능 저하를 고려할 뿐 아니라, 전체적으로 운전에 대한 확신 수준이 저하됨을 인식하고 있음을 시사하는 결과라 할 수 있다. 즉 자신의 안전을 위해 신체, 인지적 요소의 저하된 부분들을 보완할 수 있는 형태로 운전을 시도하는 일종의 보상행동의 결과인 것이다.

그러나 본 연구에서는 단순히 교차로 상황의 도로 환경만을 조작하였을 뿐 대향차와의 관계 또는 시간적인 압력 등과 같은 운전자의 개인적인 변수를 모두 고려하지 않았다는 제한점을 가지고 있다. 또한 고령 운전자만을 대상으로 진행된 연구이기에 연령의 변화 또는 그에 따른 차이를 본 연구에서는 살펴볼 수 없었다는 제한점도 가지고 있다. 따라서 추후 연구에서는 이러한 점들이 고려되어 다양한 환경에서 고령 운전자의 특성을 관찰하여 이들이 보다 안전하게 운전할 수 있는 정보를 제공하는 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

### 참고문헌

- [1] 이순열, 이순철, 김인식; “고령운전자 차량 좌회전 상황에서의 위험요인 분석”, *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 8(1) : 375-390, 2006.
- [2] 이순철; “고령운전자 교통사고의 심리적 요인”, *한국심리학회지 : 사회문제*, 12(5) : 149-167, 2006.
- [3] 이순철, 김종희, 오주석, 김인식; “고령운전자의 교통사고 특성 : 고령운전자와 청소년운전자의 교통사고 비교분석”, *사회과학 연구*, 22(2) : 149-167, 2005.
- [4] 도로교통안전관리공단; “교통사고 통계분석”, 2000.
- [5] 통계청; “한국통계연감”, 2001.
- [6] 長山泰九, 人間の交通社會, 東京, 幻想社, 1982.
- [7] Guerrier, J. H., Manivannan, P., and Nair, S. N.; “The rold of working memory, field dependence, visual search, and reaction time in the left turn performance of older female,” *Applied Ergonomics*, 30 : 109-119, 1999.
- [8] Hakamies-Blomqvist, L. and Henriksson, P.; “Cohort effects in older drivers’ accident type distribution : Are older drivers as old as they used to be?,” *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 2(3) : 131-138, 1999.
- [9] Hoberry, T., Anderson, J., Regan, M. A., Triggs, T. J., and Brown, J.; “Driver distraction : The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance,” *Accident Analysis and Prevention*, 38 : 185-191, 2006.
- [10] Lee, H. C., Cameron, D., and Lee, A. H.; “Assessing the driving performance of adult drivers : on-road versus simulated driving,” *Accident Analysis and Prevention*, 35 : 797-803, 2003.
- [11] Miyake, S., *쾌적공학(민병찬 역)*, 서울 : 시그마프레스, 16-17, 2001.
- [12] Staplin, L., Lococo, K., and Sim, J.; *Volume II : Traffic control design element for accommodating drivers with diminished capacity*, 1990.