시뮬레이터 상에서 운전 부주의 추정을 위한 실시간 모니터링 시스템의 구현

박 수 완*1) · 박 윤 숙1) · 이 태 영1) · 손 준 우1)

대구경북과학기술원 인간중심지능형시스템연구실1)

Implementation of Real-time Monitoring System for Estimating Driver Distraction in a Car Simulator

Suwan Park*1), Yunsuk Park1), Taeyoung Lee1), Joonwoo Son1)

HUMANLAB, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Daegu, 704 230 1)

Abstract : There has been recent interest in an integrated approach to driver safety which focuses on the overlapping and interacting area of the role of driver, vehicle and road environment in driving safety. These studies require various types of driving tests and analysis of driver's behavior. They need to ensure safety in a research process and to monitor the driver state and surrounding environment by real-time synchronization. To solve these needs, this paper demonstrates an implementation of a real-time monitoring system for estimating driver distraction in a car simulator. Our system alleviates the problem of accidents that may occur in a experiment due to car simulator and enables to make the case for an integrated approach in driver safety due to the synchronized data collection. And it also makes more in-depth study possible for driving distraction by including a driving distraction causing module which generates a cognitive workload and a visual workload. This paper shows collected data when a participant drove and performed a secondary task of a cognitive and visual workload in our system. The results are fairly consistent with previous studies.

Key words: Intelligent Vehicle(지능형 자동차), Driver Distraction (운전 부주의), Cognitive Workload(인지 부하), Visual Workload (시각 부하), Car Simulator(자동차 시뮬레이터), Driving Performance (운전 수행도)

1. 서 론

최근 들어, 자동차는 기계, 전자, 전산 분야의 발전으로 인하여 단순한 운송 수단에서 운송, 정보, 업무 및 휴식 공간으로 발전하고 있다. 이런 발전은 운전자가 안전하게 운전할 수 있도록 도움을 주는 지능형 자동차(Intelligent Vehicle)에 대한 관심으로 확대되고 있다[1-2]. 특히 운전 부주의(Driver Distraction)를 추정하여 사전에 경고를 주는 것과 같이 운전자의 사고 발생을 미연에 예방하는 사전예방안전(Proactive Safety)에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

이러한 연구에는 다양한 형태의 주행실험과 운전자의 행동 분석 과정이 수반되어야 하는데, 이를 위하여 두 가지 선행해야 할 과제가 있다. 첫 번째는 연구 과정에서 안전성을 확보하는 것이며, 두 번째는 운전자의 상태와 주변 환경을 실시간 동기화하여 모니터링 하는 것이다. 전자의 경우에 실제 차에서 실험함으로써 발생

* 발표자: 박수완, psuwan@dgist.ac.kr

하는 사고의 위험성을 낮추려는 노력이며, 후자의 경우에 운전자와 운전 환경 중에서 특정 데이터 만을 수집하여 운전자의 상태를 추정하기 어려운 문제점을 해결하려는 노력이다. 이런 문제점들은 시뮬레이터를 사용할 때 해결될 수 있다[3].

따라서, 본 논문에서는 자동차 시뮬레이터 상에서 운전 부주의 상태를 추정하기 위하여 운전자에 관계된 각종 데이터를 동기화하여 수집 가능한 실시간 모니터링 시스템을 제안한다. 이는 안전성의 문제로 인해 실제 차에서 수행하기 어려운 실험을 가능하게 하며, 운전자의 다양한 운전 정보를 동기화하여 수집함으로써 특정 시간에 운전자의 상태를 종합적으로 볼 수 있게 한다. 또한 자동차 운행 상에서 발생하는 인지 부하(Cognitive Workload)와 시각 부하(Visual Workload) 속에서의 운전 부주의에 관해 보다 깊이 있는 연구를 가능하게 하며 새로운 HMI(Human Machine Interface) 개발 시에 평가를 가능하게 한다.

운전자에 관한 정보는 생체 데이터 모듈과 시선 데이터 모듈, 운전자 상태 녹화 모듈로부터 수집되며, 주행정보에 관한 데이터는 차량 시뮬레이터에서 제공하는 속도, 조향각, 차선위치 등이며 모든 데이터는 30Hz 주기의 시간으로 동기화 된다. 또한 운전 부주의 발생 시스템 모듈을 통하여 시간 동기 상태를 유지하면서 운전 중 인지 부하와 시각 부하를 발생시킬 수 있도록 설계하여 각각 부하에 따른 운전자의 반응들을 모니터링 할 수 있게 한다.

본 논문에서는 제안한 시스템 상에서 한 명의 20대 피험자에게 운전 중에 인지적 부하와 시각적 부하가 발생시켰을 때 수집된 데이터를 보여준다.

2. 실시간 모니터링 시스템

실시간 모니터링 시스템은 차량 시뮬레이터(Driving Simulator) 상에서 6개의 모듈로, 그림 1과 같이 주제어(Main Control) 모듈, 운전자 생체 데이터(Driver Physiology) 모듈, 운전부하 발생(Workload Generating) 모듈, 시간 거리 표시(Display) 모듈, 시선 데이터(Driver Eye Gaze)모듈, 운전자 상태 녹화(Driver Behavior) 모듈로 구성된다. 각 정보는 그림 1에 보여진 것처럼 모듈에 따라 UDP, RS-232, USB를 통하여 이동하며, 주제어 모듈은 데이터 동기화와 각 수행 동작들을 제어한다. 동기화는 차량 시뮬레이터 모듈에서 모의 주행 중에 발생하는 시간과 이동 거리 정보로 동기화되며 주기는 30Hz이다.

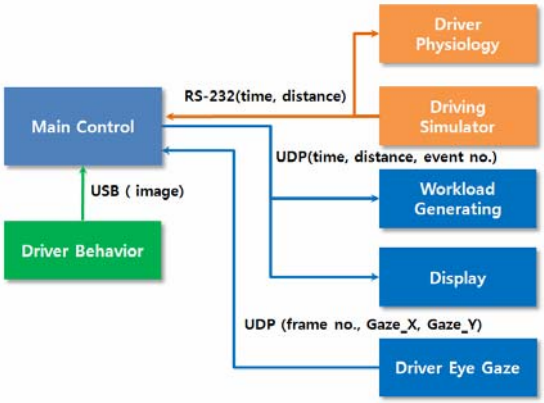


Fig. 1 실시간 모니터링 시스템 구조

Fig. 2 모의 주행 실험 장치

2.1 차량 시뮬레이터

실시간 모니터링 시스템은 그림 2와 같이 대구경북과학기술원(DGIST)의 모의 주행 실험 장치에서 구현된다. 모의 주행 실험 장치는 스크린, 제어용 PC와 현대 제네시스의 차량 내부를 재현한 시뮬레이터 차량으로 구성된다. 그리고 소프트웨어는 System Technology사의 STISIM Drive™를 사용하며, 약 30Hz 주기로 도로와 차량 영상이 스크린 화면(2.5m×2.5m)에 1024×768 해상도로 표시된다.

차량 시뮬레이터는 그림 1에서 보는 바와 같이 모의 주행 시에 동기화를 위해 주제어 모듈과 운전자 생체 모듈에게 RS-232 통신으로 시간과 이동 거리 정보를 주며, 속력, 조향각과 조향속도, 차량의 횡방향 위치와 종방향 위치 등의 주행 정보를 저장한다.

2.2 주제어 모듈

주제어 모듈은 차량 시뮬레이터가 주는 시간과 거리 데이터를 RS-232 통신으로부터 받아서 UDP로 다른 모듈들에게 브로드캐스팅(Broadcasting)하며, 데이터 동기화를 위해 각 모듈들로부터 받은 키 데이터를 시간에 맞추어 저장을 한다. 가령, 시선 데이터 모듈과 운전자 상태 녹화 모듈의 데이터를 동기화 할 때는 시선 데이터로부터 온 프레임 정보와 운전자 상태 녹화 모듈로부터 온 프레임 정보를 동기화 시간과 함께 저장한다.

또한 그림 3과 같은 인터페이스를 통해 시뮬레이터 실험에서 운전 부하 발생을 선택할 수 있게 하며, 운전자의 앞 쪽과 뒤 쪽에서 촬영한 영상을 운전자 상태 녹화 모듈로부터의 입력 받아 실험자에게 보여 준다.

2.3 운전자 생체 데이터 모듈

운전자의 생체 데이터는 MEDAC System/3 (Biomation, USA)을 사용하여 측정되며, ECG(Electrocardiogram), 피부 전도도 (Skin Conductance)와 온도(Temperature)로 구성된다.

ECG는 HR(Heart Rate)과 HRV(Heart Rate Variability)에 관계된 정보를 위해 모니터링하며, 목 앞 양 쇄골(2개)과 좌측 가장 아래쪽 흉골(1개) 밑에 부착한다. 피부 전도도 센서와 온도 센서는 손가락으로부터 피부의 전기적 활동(Electrodermal Activity)과 온도 변화를 측정한다. 이들은 그림 1과 같이 차량 시뮬레이터가 주는 시간과 거리 데이터를 RS-232 통신으로부터 받아서 동기화하여 저장된다.

2.4 운전 부하 발생 모듈

운전 부하 발생 모듈은 특정한 시간 또는 거리가 되면 주제어 모듈이 지시하는 운전 부하를 발생하는 기능을 한다. 운전 부하 모듈은 인지적 부하와 시각적 부하를 발생하는데, 본 시스템에서는 인지적 부하를 위해서는 음성으로 제시된 숫자를 기억하여 대답하는 N-back 과업을 사용 한다[2]. 본 시스템에서 N-back 과업은 Level 0 난이도로 숫자를 듣고 바로 말하는 0-back, Level 1 난이도로 한 숫자 전에 제시된 숫자를 기억하여 말하는 1-back, 그리고 Level 2 난이도로 두 숫자 전에 제시된 숫자를 말하는 2-back을 이용한다. 한 번의 실험에서는 세 개의 난이도를 모두 수행하는데, 각 난이도를 수행하는 순서는 무작위이며 각각 난이도마다 수행하는 시간은 2분이며, 한 단계가 끝나면 2분을 휴식하고 다음 단계를 수행한다.

시각적 부하는 화살표 과업(Arrow Task)을 사용하며 모의 주행 실험 장치의 네비게이션을 통해 수행한다[4]. 네비게이션에서 그림 4와 같은 화면이 제시되면, 그림에서 윗쪽을 향한 화살표가 나타나면 '예' 버튼을 누르고 없으면 '아니요' 버튼을 누르면 된다. 그림 4의 경우에는 '예'가 정답이다.

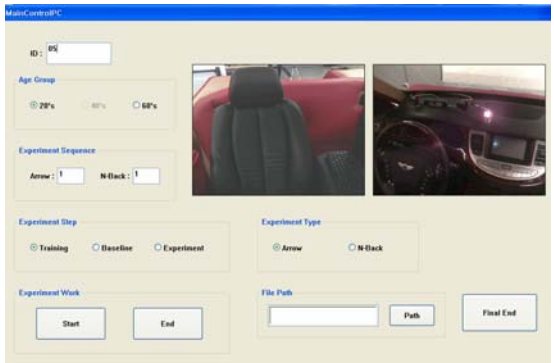


Fig. 3 운전 부하 선택 인터페이스

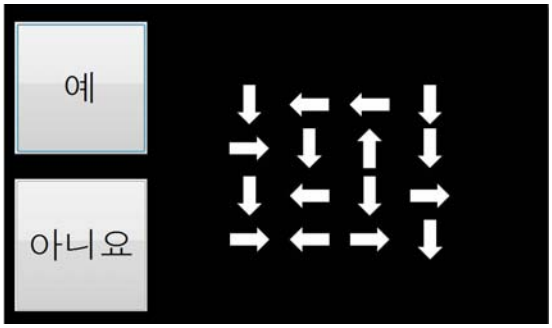
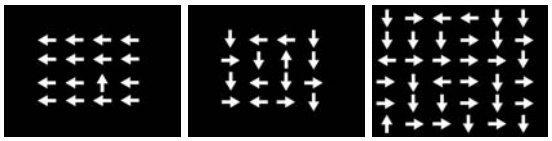


Fig. 4 시각적 부하 발생 화면



(a) Level 0 (b) Level 1 (c) Level 2

Fig. 5 화살표 과업에서 난이도별 그림

화살표 과업도 N-back과 같이 3개의 난이도이며

그림 5에서 (a)와 같은 형태의 Level 0, (b)와 같은 형태의 Level 1, (c)와 같은 형태의 Level 2로 구성된다. 화살표 과업도 N-back과 같이 한 번의 실험에서는 세 개의 난이도를 모두 수행하는데, 각 난이도를 수행하는 순서는 무작위이며 각각 난이도마다 수행하는 시간은 2분이며, 한 단계가 끝나면 2분을 휴식하고 다음 단계를 수행한다.

2.5 시간 거리 표시 모듈

시간 거리 표시 모듈은 모의 주행 중에 운전자에게 주행 시간과 이동한 거리를 보여주는 모듈로 운전자에게 제한 시간을 초과하지 않도록 압박을 하는 역할을 한다. 주제어 모듈의 UPD 브로드캐스팅한 시간과 거리 정보를 받아서 Tablet PC를 통해 보여 주며 스크린 화면에서 후방 거울(Rear Mirror)이 나타나는 위치의 오른쪽 옆에 위치 한다.

2.6 시선 데이터 모듈

시선 데이터 모듈은 운전자의 시선 정보를 검출하여 저장하는 모듈로 FaceLAB 4.6(seeing Machines, 호주)을 사용한다[5]. FaceLAB은 그림 6과 같이 모의 주행 차량의 대쉬보드(Dash Board) 위에 설치된 카메라로부터 영상 정보를 읽어서 운전자의 시선정보를 60 Hz의 속도로 측정하여 저장하며 시선 정보를 UPD를 통해 주제어 모듈에게 전송 한다. 본 시스템의 주제어 모듈은 프레임 정보를 받아서 시간과 함께 기록함으로써 데이터를 동기화 한다.

Fig. 6 시선 측정 장치

2.7 운전자 상태 녹화 모듈

운전자의 상태는 Logitech Quick Cam for Notebooks Pro를 사용하여 그림 3에 나오는 것처럼 운전자의 앞과 뒤에서 영상과 소리를 30 Hz의 속도로 녹화한다. 영상 데이터는 320 x 240의 해상도에서 Huffyuv 코덱을 사용하여 avi 파일 형태로 저장된다. 또한 동기화 시간에 맞추어 프레임 번호를 저장함으로써 후에 특정 시간에서의 장면을 찾기 쉽게 한다.

3. 데이터 분석

제안한 시스템에서 운전 부하 발생과 데이터 수집을 보기 위해 아래와 같이 실험하고 결과를 분석하였다.

3.1 실험 방법

주 3회 이상 운전을 하며, 신체적, 정신적으로 건강한 20대 남자 한 명을 선정하여 실험하였다. 또한, 기본적인 인지능력을 검사하기 위하여 MMSE(Mini Mental Status Exam)을 시행하였으며[6], 30점 만점에 27점 이상을 획득한 사람이였다. 피험자의 참여도를 높이기 위하여, 실험 비용 30,000원을 20,000원의 실험비용과 10,000원의 인센티브 비용으로 나누어 지급하는 것으로 설명하였다. 즉, 인센티브 금액이 사고횟수, 도착지연시간, 부하 작업 수행에 따른 오답수에 따라 차감되도록 설계하여, 피험자가 실제 운전 상황의 스트레스와 유사한 심리적 불안감을 느끼도록 유도하였다.

실험절차는 모의 주행 실험을 중심으로 주행 전 단계와 주행 후 단계로 구성하였다. 실험 전 단계는 서명 및 설명(consent and overview), 사전 설문(Survey), 장비 set-up과 모의 주행 훈련(Simulator training)으로 구성하였다.

실험 단계에서는 인지 부주의 실험과 시각 부주의 실험으로 구성되었다. 인지 부주의 실험은 인지 부하 작업 훈련(Cognitive Task Training), 기준 인지 부하 수행 능력 실험(Cognitive Task baseline), 모의 주행 실험 (Driving & Cognitive Experiment)으로 구성되며, 시각 부주의 실험은 인지 부하 작업 훈련(Visual Task Training), 기준 시각 부하 수행 능력 실험(Visual Task baseline), 모의 주행 실험 (Driving & Visual Experiment)으로 구성하였다.

실험 주행 구간은 약 37km의 편도 2차선 직선 고속도로로 구성되었으며, 제한 속도는 110km/h이였고 23분 내에 도착하도록 요구했다. 한번 주행에서 하나의 운전 부하 작업을 수행하였고, 특정 거리에 도달하면 운전 부하 작업이 시작되었다.

3.2 측정 데이터

3.2.1 운전 수행 능력

운전 수행 능력은 시뮬레이터 차량으로부터 저장

된 속도, 횡방향 위치, 조향각(Steering Wheel Angle)을 바탕으로 계산되었다. 특정 구간에서 속도들을 가지고 평균 속도와 속도의 표준 편차를 구하여 종방향의 평가 지표로 선택하였고, 횡방향 위치 정보를 기반으로 MSDLP(Modified Standard Deviation of Lane Position)를 구하여 횡방향의 평가 지표로 선택하였으며, 조향각을 가지고 SRR(Steering Reversal Rate)을 계산하여 횡방향의 평가 지표로 선택하였다. 평균속도의 변화는 운전부하 발생시 운전자가 취하는 보상행위의 정도를 의미하며, MSDLP와 SRR은 교통사고와 밀접한 관련을 갖는 횡방향 제어 능력을 의미한다.

MSDLP은 일정 시간 동안(최소 10초 이상) 모아진 횡방향 위치 데이터를 가지고 2차의 Butter-worth-filter를 가지고 0.1 Hz의 cut-off 주파수로 High-pass 필터링을 한 후에 필터링된 데이터를 모아서 표준편차를 계산하였다[7].

SRR 계산을 위해서는 먼저 일정 시간 동안 모아진 조향각 데이터를 가지고 2차의 Butter-worth-filter를 가지고 Low-pass 필터링을 하였다. 필터링을 할 때 시각적 부주의를 측정하기 위해서는 0.6 Hz의 cut-off 주파수를 사용하고 인지적 부주의를 측정하기 위해서는 2 Hz의 cut-off 주파수를 사용하였다. 필터링된 데이터들을 가지고 움직이던 반대 방향으로 꺾이는 회수를 계산하여 SRR을 계산하는데, 꺾이는 정도를 분류하는 임계치(Threshold)에 있어서 시각적 부주의를 위해서는 3 도로 하고, 인지적 부주의를 위해서는 0.1 도로 하였다[7].

3.2.2 생체

측정 시스템으로부터 ECG, SCL, 온도를 입력 받으며 ECG는 심박수 계산을 위해서 활용되며, SCL은 피부 전도도를 나타낸다.

본 논문에서는 ECG 생체신호 정량화를 위한 IBI (단위: ms) 추출은 Librow (Librow™, Ukraine)를 이용하여 이루어졌으며 60000/IBI를 함으로써 심박수를 계산하였으며, 특정 구간에서의 심박수는 이 수치들을 평균하였다.

특정 구간에서의 SCL 값은 그 구간에서의 데이터를 평균하여 계산하였고, 온도 값은 그 변화 속도가 늦는 것을 감안하여 그 구간이 끝나기 30초 전부터의 값들을 평균하였다.

3.2.3 시선

일반적으로 인지적 부주의를 겪게 될 때 시선의 집중화(Visual Tunneling) 현상이 나타난다[8]. 본 논문에서는 운전자 시선의 집중화 정도를 보다 체계적으로 분석하기 위하여 횡방향 및 종방향 시선의 표준편차를 살펴보았다.

3.3 실험 결과 및 토의

3.3.1 시각 부주의 실험

1) 운전 수행 능력

시각 부주의 실험에서 운전 수행 능력은 그림 7과 같이 나타났다.

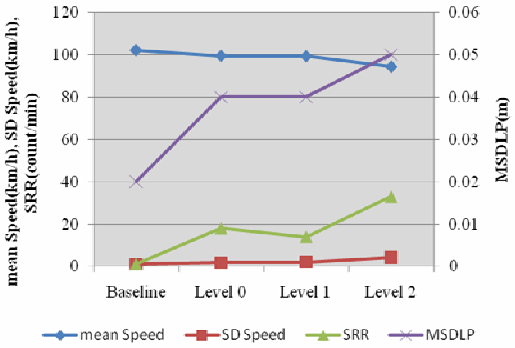


Fig. 7 시각 부주의 실험에 난이도별 운전 수행 능력

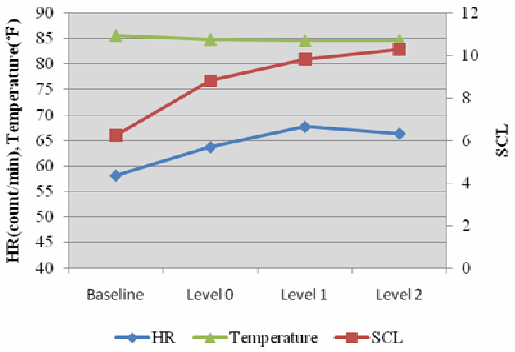


Fig. 8 시각 부주의 실험에서 난이도별 생체 데이터

그림 7은 시각 부주의의 난이도에 따라서 속도의 표준 편차(SD Speed), MSDLP, SRR이 증가하는 것과 평균 속도(mean Speed)는 감소함을 보였다. 이는 기존 연구와 상당히 일치됨을 보인다[7].

2) 생체

그림 8은 생체 데이터의 결과를 보여 준다. 그림

8에서 시각 부주의의 난이도에 따라서 SCL은 증가하고, 심박수(HR)은 증가하다가 Level 2에서 다소 감소하는 경향을 보였으며, 온도는 화씨 0.3 도씩 감소 추세를 보였으나 Level 2에서는 다시 증가하였다. 이는 항상성을 유지하기 위해 다소 증가한 것으로 추정할 수 있다.

3.3.2 인지 부주의 실험

1) 운전 수행 능력

인지 부주의 실험에서 평균 속도는 난이도 증가에 따라 감소하는 추세를 보였으나 Level 2에서는 다시 증가하는 경향을 보였으며, 속도의 표준 편차는 증가하다가 Level 2에서 다소 감소하는 경향을 보였다. MSDLP는 난이도에 따른 차이는 보이지 않았지만 인지 부하가 있는 상황과 없는 상황을 구분하여 인지 부하가 있는 상황에서는 감소하였다. 이는 Remier의 연구와 일치한다[8]. SRR은 난이도에 따라 증가하는 경향성을 확연하게 보였고 기존의 연구와 일치한다[7].

2) 생체

그림 10은 생체 데이터의 결과이다. 그림 10에서 인지 부주의의 난이도에 따라서 SCL은 증가하고, 심박수(HR)는 증가하는 경향을 보였으며, 온도는 화씨 약 0.1도씩 감소 추세(84.881→84.769→84.687)를 보였으나 Level 2에서는 다시 증가(85.097)하였다. 심박수 증가, SCL 감소는 기존 연구와 일치함을 보였고[9], 온도가 Level 2에서 다시 올라간 것은 몸에서 항상성을 유지하기 위해 다소 증가한 것으로 추정할 수 있다.

3) 시선

그림 11은 시각 부주의 실험에서 난이도에 따른 횡방향과 종방향 시선의 표준 편차를 보여 주며, 인지적 부하가 주어졌을 때 Visual tunneling 현상을 겪게 됨을 보여 준다[8].

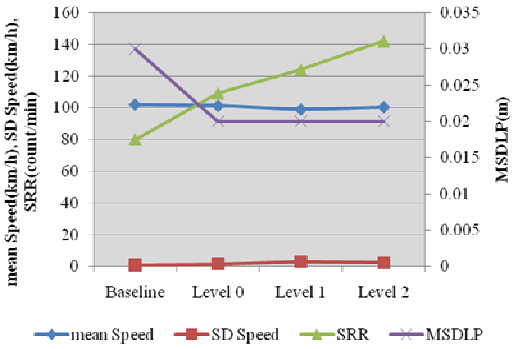


Fig. 9 인지 부주의 실험에서 난이도별 운전 수행 능력

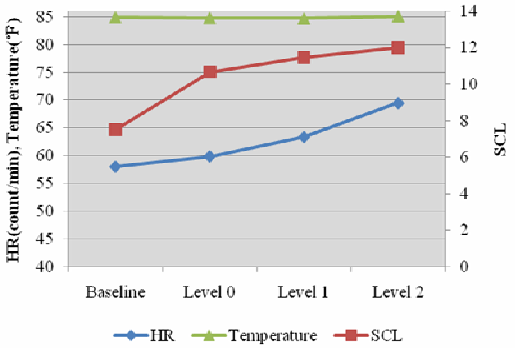


Fig. 10 인지 부주의 실험에서 난이도별 생체 데이터

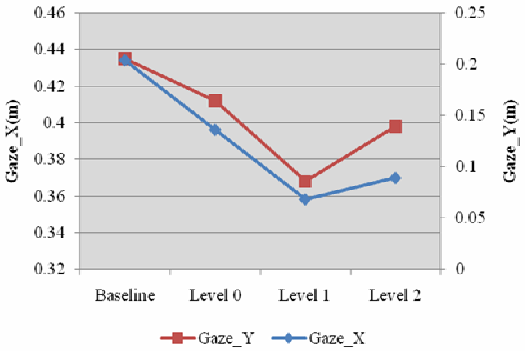


Fig. 11 인지 부주의 실험에서 난이도별 시선

4. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이터 상에서 운전 부주의 추정을 위한 실시간 모니터링 시스템의 구현을 보였다. 이는 운전 부주의(Driver Distraction)를 추정하여 사전에 경고를 주는 것과 같이 운전자의 사고 발생을 미연에 예방하는 사전예방안전에 관한 연구들의 일환으로, 실제 차량에서 실험하기 어려운 문제를 시뮬레이터 상에서 가능하도록 하려는 것이다.

구현된 시스템에서 운전자에 관한 정보는 생체 데이터 모듈과 시선 데이터 모듈, 운전자 상태 녹화 모듈로부터 수집되며, 주행정보에 관한 데이터는 차량 시뮬레이터에서 제공하는 속도, 조향, 차선위치 등의 데이터 들로부터 수집된다. 또한 모든 데이터는 30Hz 주기의 시간으로 동기화하여 수집함으로써 운전의 전체적인 상황(Driving Context)을 볼 수 있게 하였고, 데이터들을 분석할 수 있게 하였다.

본 논문에서는 제안한 시스템 상에서 한 명의 20대 피험자가 운전 중에 인지적 부하와 시각적 부하 상황을 경험한 실험한 결과를 보였다. 비록 한 명의 결과이긴 하지만 수집된 데이터들은 기존의 연구 결과들과 상당한 유사성을 보였으며, 이는 제안한 시스템이 운전 부주의 추정을 위한 실시간 모니터링으로 활용하기 적절함을 나타낸다.

향후에는 수집된 데이터들로부터 운전 부주의 상황을 추정할 만한 변수들을 찾고 가공하는 것이 필요하다. 일반적으로 한 종류의 데이터 만으로는 운전부주의를 추정하기 어렵다고 밝혀져 있다. 따라서 더 많은 실험을 통해 수집된 데이터들을 바탕으로 하여 특정 부주의에서 가장 민감한 데이터들을 찾고 정량적인 척도를 찾는 것이 필요하다.

후 기

본 연구는 지식 경제부의 지식 경제 기술 혁신 사업의 연구비와 교육과학기술부의 “대구경북과학기술원” 연구사업의 연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1) Reimer, B., Coughlin, J. F., and Mehler, B. “Development of a Driver Aware Vehicle for Monitoring, Managing & Motivating Older Operator Behavior”, Proceedings of the ITS-America, Washington, DC, 2009.

2) Son, J., Reimer, B., Mehler, B., and et al. “Age and cross-cultural comparison of drivers’ cognitive workload and performance in simulated urban driving”, International Journal of Automotive Technology, Vol. 11,No. 4, pp. 533-539.

3) Yi, K. “Human-in-the-loop evaluation of advanced safety vehicles using a vehicle simulator”, Auto Journal, Vol. 26, No. 4, pp. 6−10, 2004.

4) A. Hamish Jamson, Natash a Merat, “Surrogate in-vehicle information systems and driver behaviour : Effects of visual an cognitive load in simulated rural driving”, Transportation Research Part F, Vol. 8, pp.79-96, 2005.

5) FaceLAB4 User Manual, Seeing Machines, Canberra, Australia, 2008.

6) Folstein, M.F., Folstein, S.E., McHugh, P.R. “Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician”, Journal of Psychiatric Research, Vol.12, No.3, 189-198, 1975.

7) Joakim Östlund et al. “Driver workload and distraction assessment - methods and tools”, AIDE, 2005.

8) Reimer, B. “Impact of Cognitive Task Complexity on Drivers' Visual Tunneling”, Journal of the Transportation Research Board of the National Academies, Vol. 2138, pp. 13-19, 2009.

9) Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F., and Dusek, J. A. “The impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers”, Proc. Transportation Research Board of The National Academies, 2009.