

졸음운전 방지를 위한 fuzzy 추론에 의한 각성도의 평가

김연호*·고한우*·유 준**

= Abstract =

Evaluation of Arousal Level to Prevent Drowsy Driving by Fuzzy Inference

Y.H. Kim*, H.W. Ko*, J. Lyou**

This paper describes the arousal measurement and control system using fuzzy logic to prevent drowsy driving. Sugeno's method was used for fuzzy inference in this study. Arousal evaluation and control criteria were modified from result of Nz-IRI analysis depending on arousal sate. Membership function and rule base of fuzzy inference were determined from the modified arousal level criteria. When IRI (Inter-SIR Interval) was shorter than 60sec, outputs of both methods were changed from small to big, but output of three step warning method was same level until the next warning range. Since output of fuzzy inference tracked well the change of subject's arousal level, problems of three step warning method could be overcome by fuzzy inference method. Furthermore, the output of the fuzzy inference was highly correlated with Nz($r=0.99$). Therefore, the fuzzy inference method for evaluation and the control of arousal will be more effective at real driving situation than three step warning method.

Key words : Fuzzy inference, Evaluation of arousal level, Driver's drowsiness, Sugeno's method

서 론

최근 우리 나라에서도 졸음으로 인한 교통사고를 방지하기 위한 각성도 측정 및 평가방법에 관한 연구가 진행중이지만 운전자를 구속하지 않으면서 각성도 관련신호를 정확히 검출할 수 있는 선서 및 측정방법의 개발이 어렵기 때문에 신뢰성 있고 실용화가 가능한 각성상태 측정에는 이르지 못하고 있다[1,4-7].

저자들은 지금까지 피부전기활동(Electrodermal Activity : EDA)의 하나인 피부 임피던스(Skin Impedance Change : SIC) 신호의 교류성분에 해당하는 피부 임피던스 반사(Skin Impedance Response : SIR)와 전체적인 피부 임피던스 변화를 나타내는 피부 임피던스 수준(Skin Impedance Level : SIL)을 측정하여 각성단계별 각성, 졸림, 수면의 3단계로 나누어 각성상태 평가 및 제어기준을 만들고 이를 기준으로 Small, Medium, Big의 3단계의

경고음을 주어 각성상태를 제어하였다[4-6,11]. 이러한 제어방법은 저각성 초기에는 효과적인 수 있으나 연속적으로 변화하는 각성상태를 더욱 자세하게 평가 및 제어하기에는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 SIL 평가지표(Nz)와 SIR 발현간격(IRI)을 fuzzy추론의 input parameter로 설정하고 Nz와 IRI의 영역별 분석을 통하여 각성상태 평가 및 제어 기준을 재 수정하였다. 이를 기준으로 if-then 형식의 fuzzy law을 결정하였으며, 시뮬레이션을 통하여 재 수정된 제어기준을 적용한 3단계 경고음 발생 방법과의 차이점 및 수면 실험중의 피검자의 각성상태를 비교분석 하였다.

각성도 측정 시스템구성과 평가기준

본 연구에서는 그림 1과 같은 측정 시스템을 구성하고 교류 통전법에 의한 피부 임피던스 변화를 측정하여 각성

*한국표준과학연구원

*Korea Research Institute of Standards and Science

**충남대학교 전자공학과

**Department of Electronics Engineering, ChungNam National University

통신저자 : 고한우, (305-600) 대전시 유성구 도룡동 1 한국표준과학연구원 유성우체국 사서함 102호,

Tel. (042)868-5252, Fax. (042)868-5047

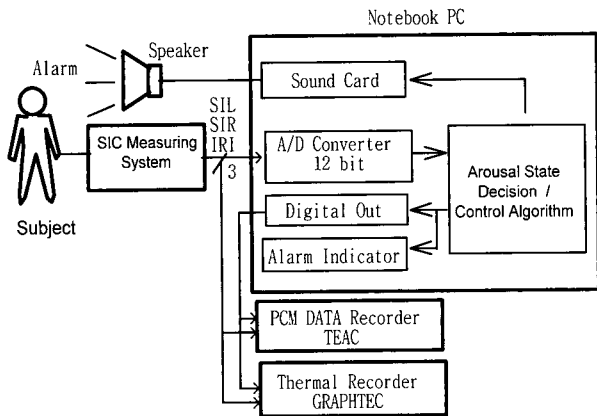


그림 1. 각성도 측정 및 제어시스템 블록선도
Fig. 1. Block diagram of arousal measurement and control system

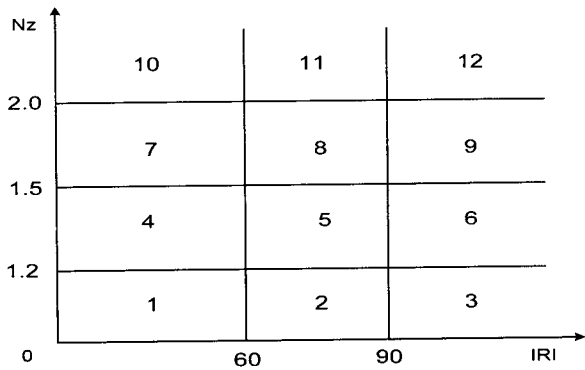
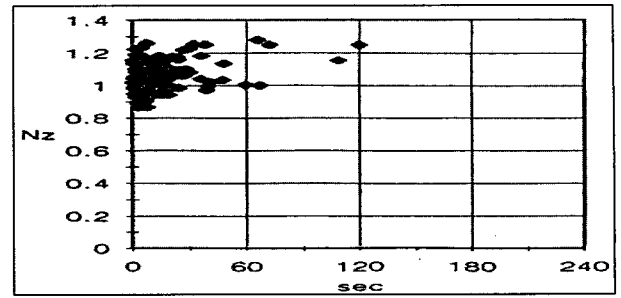


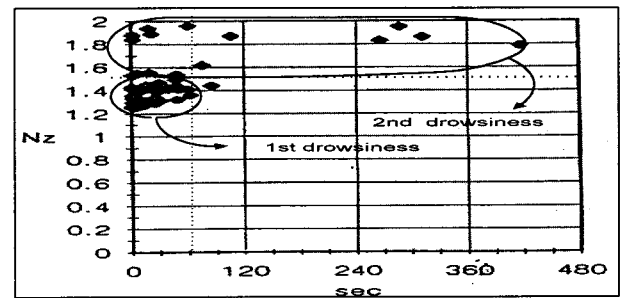
그림 2. Nz-IRI 평면상의 각성영역도
Fig. 2. Area map of arousal state on the Nz-IRI plane

도를 평가하였다[4,5]. 각성도 측정요소로 Nz와 IRI를 이용하였으며, Nz는 피검자의 임피던스 수준인 SIL이 갖는 개인간의 차이를 없애고 SIL 평가지표의 일반화를 위하여 피검자에게 전극을 부착시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔 후 3분간의 SIL 값을 측정하여 평균한 값을 기저 임피던스(Basal Impedance : BI)로 하고 이를 기준으로 측정값을 정규화 시킨 값이며, IRI는 인접 SIR간의 발현 간격(Inter-SIR Interval : IRI)이다[4-6].

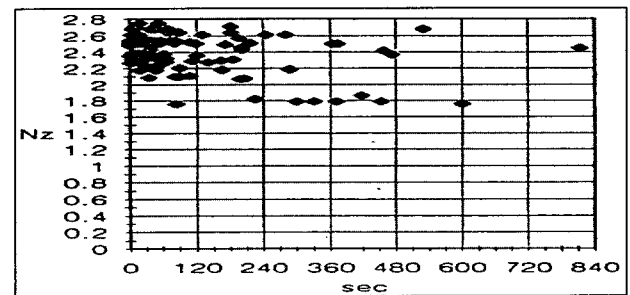
30인의 피검자(23세-43세)에 대하여 뇌파와 SIC를 동시에 측정한 수면실험 결과 각성수준 변화에 따른 Nz와 IRI의 상관관계 분석 및 각 영역의 분석을 통하여 각성수준의 변화를 줄임, 수면의 3단계로 평가할 수 있었고, 각각의 각성상태에 대한 경고음 출력으로 Small(줄림초기), Medium(줄림), Big(수면직전)을 주어 각성수준을 제어



(a). arousal state



(b). drowsiness state



(c). sleep state

그림 3. 각성단계에 따른 영역별 Nz와 IRI의 상관 분포도
Fig. 3. Distribution map of Nz-IRI depending on arousal state

하도록 하였다. 그림 2는 Nz와 IRI 평면상의 각성영역도이며, 기존의 제어기준은 Nz와 IRI의 분포가 4, 5, 7 영역에 발생하면 Small, 6, 8, 10 영역은 Medium, 9, 11, 12영역은 Big의 경고음을 주어 각성도를 제어하였다[5]. 그러나 실차 실험시 저 각성상태 임에도 불구하고 60초 이하의 IRI값을 갖게 되므로 실차시에 효과적인 각성제어를 목적으로, 각성상태에 따른 Nz와 IRI의 영역별 분석을 통하여 제어기준을 수정 및 보완하였다.

각성상태에 따른 Nz와 IRI의 영역별 분석

그림 3은 4인의 피검자에 대한 실험결과인 총 945개의 data 쌍을 각성, 줄림, 수면 영역으로 나누어 분류한 data의 분포도이다.

표 1. 수정된 각성도 평가 및 제어 기준
Table 1. Modified arousal level criteria

IRI(sec)	Nz		
	1.2 ≤ Nz < 1.5	1.5 ≤ Nz < 2.0	2.0 ≤ Nz
IRI < 60	Small	Medium	Big
60 ≤ IRI < 90	Medium	Medium	Big
90 ≤ IRI	Medium	Big	Big

그림 3(a)의 각성상태일 때 Nz는 대부분 1.2 이하이며 IRI는 대부분 60초 미만이고 그림 3(b)의 졸림 영역은 data의 분포형태가 크게 두 가지로 나누어짐을 볼 수 있다. 첫 번째 졸림 영역은 Nz가 1.2에서 1.5 사이이며 이 때 IRI는 대부분 60초 이하이고, 두 번째 졸림 영역은 Nz가 1.5 이상이며 IRI가 60초 이상의 넓은 분포를 가진다. 그림 3(c)는 수면 영역이며 전체적으로 Nz는 대부분 2.0 이상에서 분포하고 IRI는 대부분이 60초 이상으로 길다. 위의 신호로부터 각성상태가 저하됨에 따라 Nz와 IRI는 모두 증가하고 특히 IRI의 60초 이하의 영역은 각성상태의 변화에 상관없이 IRI가 발생되나 Nz값에 차이가 있음을 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과를 기존의 각성도 평가 및 제어기준에 적용하여 표 1과 같이 수정하였다. 즉, 그림 2의 각성영역도에서 Nz와 IRI가 4의 영역인 경우는 Small을, 5, 6, 7, 8인 경우에는 Medium을, 9, 10, 11, 12인 경우에는 Big의 경고음이 발생하게 된다.

각성도 제어를 위한 fuzzy 추론방법

퍼지집합은 애매함을 수학적으로 접근하는 새로운 방식이며, members가 집합에 속해 있는 정도를 0과 1사이의 값으로 나타내는 것이다. 퍼지집합의 표현 식은 식(1)과 같고 A는 퍼지집합, μ_A 는 원소 x 가 A에 소속하는 정도를 나타낸 것이다[8-10].

$$\mu_A(x) = [0, 1] \tag{1}$$

$$A = (x, \mu_A(x) \mid x \in X)$$

그림 4는 각성상태 평가를 위한 퍼지제어시스템의 기본 구조이다. 퍼지엔코더는 퍼지제어의 프로그램을 위한 인터페이스로 퍼지화 작업을 하고, 규칙기반 시스템은 if-then 형식의 전건부(입력변수의 조건)와 후건부(출력변수의 결과)로 나타내며, 이것을 바탕으로 퍼지 추론부에서 추론을, 그리고 퍼지 디코더를 통하여 퍼지 추론결과를 프로세스의 제어에 맞도록 수치 변환하는 작업, 즉 퍼지변수를 crisp한 실제 값으로 defuzzification하게 된다. 이 값은 피검자에게 자극을 주고 각성평가 시스템으로부터 각성 정도를 판별한 후 측정된 생리신호의 값을 퍼지 제어 시스템의 입력으로 다시 보낸다[10].

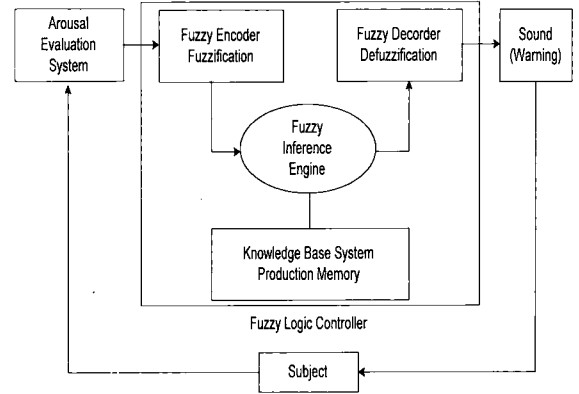


그림 4. 각성 제어를 위한 퍼지제어시스템의 블록선도
Fig. 4. Block diagram of fuzzy system for arousal control

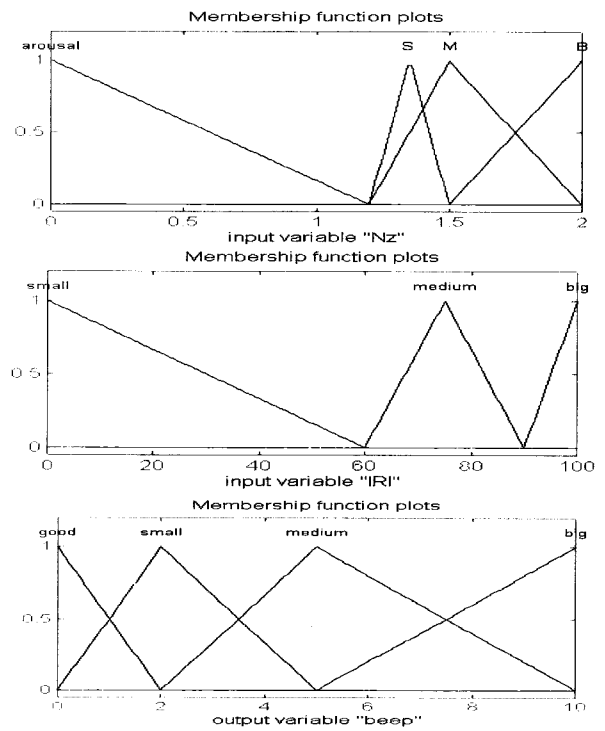


그림 5. 멤버쉽함수
Fig. 5. Membership function

본 연구에서는 운전자 상태를 실시간으로 프로세싱 하여 제어하는 것이 목표이므로 프로세싱 속도가 빠른 장점을 가지며 결론부가 조건부 변수의 선형식으로 구성되는 방법인 Sugeno 추론방법을 이용하였다. 먼저 fuzzy 제어 시스템의 조건부의 입력으로 Nz와 IRI에 식(2)와 같은 삼각형 형태의 귀속함수를 사용하여 퍼지화 하였으며 이

때의 입력 Nz의 멤버쉽함수는 그림 5와 같이 Arousal=[0 0 1.2], Small=[1.2 1.35 1.5], Medium=[1.2 1.5 2.0], Big=[1.5 2.0 2.0], IRI는 Small=[0 0 60], Medium=[60 75 90], Big=[90 100 100]이고, 결론부의 출력(beep)에서는 constant 퍼지수를 이용하여 Good=0, Small=2, Medium=5, Big=10의 값을 갖는 fuzzy singleton으로 퍼지화하여 추론하였다.

$$\begin{aligned}
 A &= [a_1, a_2, a_3] \\
 \mu_A(x) &= 0 & \chi < a_1 \\
 &= \frac{\chi - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq \chi \leq a_2 \\
 &= \frac{a_3 - \chi}{a_3 - a_2} & a_2 \leq \chi \leq a_3 \\
 &= 0 & a_3 \leq \chi
 \end{aligned} \quad (2)$$

(단, a_1, a_2, a_3 은 상수)

Fuzzy 추론을 위한 control law는 표 1의 기준과 정상 상태 일때를 포함한 10가지의 law로 아래와 같이 구성하였다.

- R_1 : If Nz is A_N , then beep is G_{beep} .
 - R_2 : If Nz is S_N , and IRI is S_{IRI} then beep is S_{beep} .
 - R_3 : If Nz is S_N , and IRI is M_{IRI} then beep is M_{beep} .
 - R_4 : If Nz is S_N , and IRI is B_{IRI} then beep is M_{beep} .
 - R_5 : If Nz is M_N , and IRI is S_{IRI} then beep is M_{beep} .
 - R_6 : If Nz is M_N , and IRI is M_{IRI} then beep is M_{beep} .
 - R_7 : If Nz is M_N , and IRI is B_{IRI} then beep is B_{beep} .
 - R_8 : If Nz is B_N , and IRI is S_{IRI} then beep is B_{beep} .
 - R_9 : If Nz is B_N , and IRI is M_{IRI} then beep is B_{beep} .
 - R_{10} : If Nz is B_N , and IRI is B_{IRI} then beep is B_{beep} .
- (단, A : Arousal, G : Good, S : Small, M : Medium, B : Big.)

S_N, M_N, B_N 와 $S_{IRI}, M_{IRI}, B_{IRI}$ 및 $S_{beep}, M_{beep}, B_{beep}$ 은 각각 Nz, IRI, beep의 membership function이다. 여기에 Sugeno 추론방법을 적용하면, 피검자로부터 측정된 입력 값 $Nz=Nz^0$ and $IRI=IRI^0$ 에 대한 조건부의 적합도 α_n 는

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= A_N(Nz^0), & \alpha_2 &= S_N(Nz^0) \wedge S_{IRI}(IRI^0), \\
 \alpha_3 &= S_N(Nz^0) \wedge M_{IRI}(IRI^0), & \alpha_4 &= S_N(Nz^0) \wedge B_{IRI}(IRI^0), \\
 \alpha_5 &= M_N(Nz^0) \wedge S_{IRI}(IRI^0), & \alpha_6 &= M_N(Nz^0) \wedge M_{IRI}(IRI^0), \\
 \alpha_7 &= M_N(Nz^0) \wedge B_{IRI}(IRI^0), & \alpha_8 &= B_N(Nz^0) \wedge S_{IRI}(IRI^0), \\
 \alpha_9 &= B_N(Nz^0) \wedge M_{IRI}(IRI^0), & \alpha_{10} &= B_N(Nz^0) \wedge B_{IRI}(IRI^0).
 \end{aligned}$$

(단, \wedge 은 minimum operation).

가 되며, 전체 추론결과 $Beep^0$ 은 각각의 적합도와 출력 멤버쉽함수의 곱으로부터 얻은 출력값에 대한 하중평균으로 식(3)에 의하여 crisp한 값을 구할 수 있다[8-10].

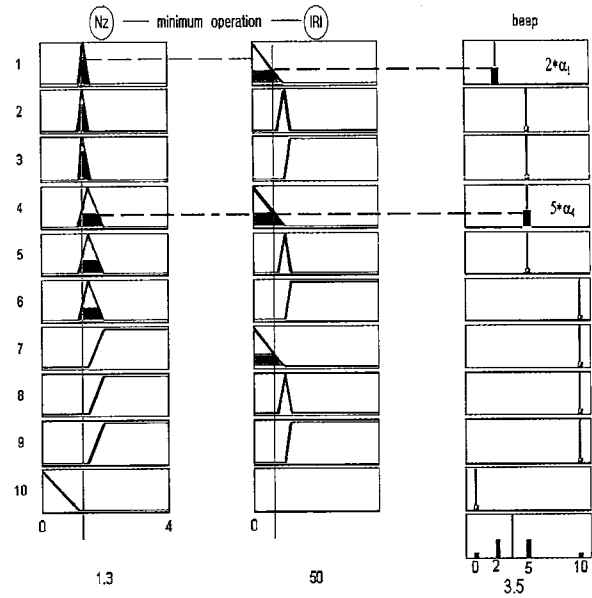


그림 6. Sugeno방법을 이용한 퍼지추론 과정(입력 : Nz=1.3, IRI=50)
 Fig. 6. Processing of fuzzy inference used for sugeno's method(input : Nz=1.3, IRI=50)

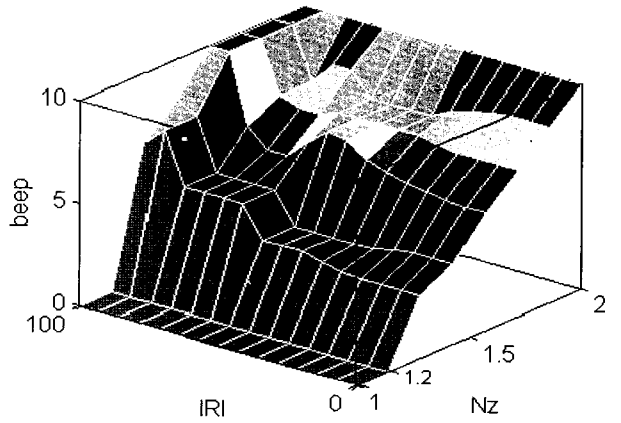


그림 7. Nz와 IRI를 입력으로한 경고음의 출력
 Fig. 7. Output of beep depend on Nz and IRI

$$\begin{aligned}
 Beep^0 &= \frac{\alpha_1 G_{beep} + \alpha_2 S_{beep} + \alpha_3 M_{beep} + \alpha_4 M_{beep} + \alpha_5 M_{beep} + \dots + \alpha_{10} B_{beep}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{10}} \\
 &= \frac{2\alpha_2 + 5\alpha_3 + 5\alpha_4 + \alpha_5 + \dots + 10\alpha_{10}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{10}} \quad (3)
 \end{aligned}$$

(단, Good(G_{beep}) : 0, Small(S_{beep}) : 2, Medium(M_{beep}) : 5, Big(B_{beep}) : 10)

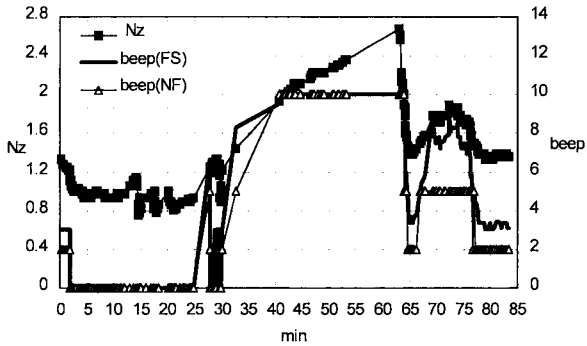


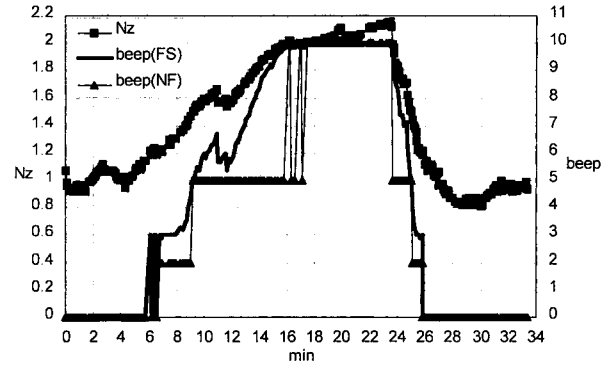
그림 8. 수면실험 결과
Fig. 8. Result of sleepiness test

그림 6은 Nz가 1.3이고 IRI가 50일 경우의 Sugeno법을 이용한 퍼지추론 과정이다. 그림의 왼편에 있는 번호는 각각의 fuzzy law의 번호이며 Nz와 IRI의 minimum operation에 의하여 1과 4의 law 만이 값을 갖게되며, 이는 식 3에 의하여 3.5라는 값을 갖게된다. 그림 7은 이러한 방법으로 Nz와 IRI를 fuzzy 추론의 입력으로 하고, fuzzy law를 기준으로 추론한 결과이며, 0부터 10까지의 경고음의 level을 나타낸다. 이렇게 얻어진 전체 추론결과는 경고음의 level정도를 나타내고 크기 및 주파수 등으로 구현할 예정이다.

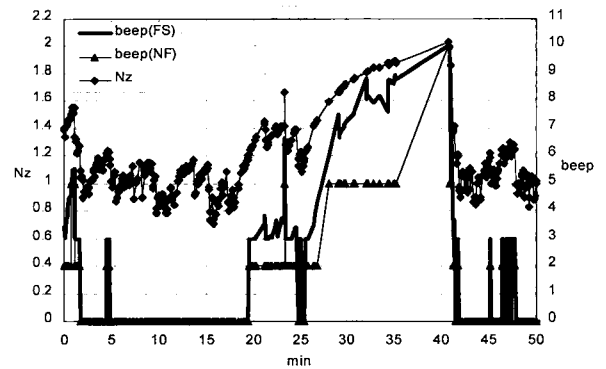
시뮬레이션 및 결과 고찰

본 실험에서는 자극이 없었을 때의 실험 data와 performance test 실험을 수행하면서 얻은 피검자의 data를 입력으로 하여 각각 5가지의 data에 대하여 시뮬레이션을 하였다. 멤버십 함수는 그림 5와 같고 Math works사의 Matlab의 fuzzy toolbox를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 또한 실험시 기록한 피검자의 주관적 각성상태와 비교분석 하였고 IRI가 60초 이하일 경우의 Nz의 변화에 대한 fuzzy 시스템 출력값의 상관계수를 비교하였다.

그림 8은 무자극 상태의 수면실험 결과로부터 얻은 Nz와 IRI 데이터를 입력으로 하고 표 1의 기준을 이용한 3단계 경고음법의 결과(beep(NF) : -△-)와 fuzzy 추론법의 결과(beep(FS) : -)에 대한 시뮬레이션 결과를 동시에 나타낸 결과이다. 피검자는 실험 시작후 20분까지 각성상태를 유지하도록 하였고 30초경부터 졸리다고 하였다. 뇌파분석 결과 40분 경에 피검자는 입면기에 들어갔으며 이때 움직임이 있었고, 63분 경에 잠을 깬으나 완전히 깨지 못하여 65분 이후 다시 졸리다고 하였다. 먼저 표 1의 기준을 이용한 3단계 경고음법의 결과(-△-)를



(a). subject A.



(b). subject B.

그림 9. Performance test의 결과
Fig. 9. Result of performance test

보면, 초기 각성상태에서는 경고음 발생이 없다가(단 실험시작 직후 3분은 제외 : 전극의 안정화) 피검자가 졸리다고한 27분 경에 Nz가 1.2를 넘고 IRI가 90초 이상이므로 Medium(5)의 경고음이 울리고 40분까지 각성상태가 저하됨에 따라 경고음의 level도 Small에서 Medium, Big으로 변화하였다. 그리고 40분 이후 피검자의 움직임으로 인하여 60초 이하의 IRI가 다량 발생하였을 때, 이전의 제어기준으로는 최고, Medium의 경고음만이 발생하는 문제점이 있었으나 수정된 제어기준을 적용하였을 때에는 IRI에 상관없이 연속하여 Big의 경고음이 발생된다. 65분 이후 다시 졸기 시작했을 때에도 수정전의 기준으로는 Small만이 발생되지만 수정된 제어기준으로는 연속하여 Medium 경고음이 발생하므로 수정되기 전의 각성제어 방법보다 효과적이었다. 여기에 표 1을 기준으로한 fuzzy 시스템을 이용하였을 경우(-) 초기 경고음의 level이 3

단계 경고음 발생 방법보다 높고 전반적으로 피검자의 각성저하에 따라 민감하게 변화하였으며, 수면영역에서 연속으로 Big의 경고음이 발생된다. 특히, 다시 졸기 시작한 65분 이후에서 3단계 경고음법은 이 영역에서 연속된 Medium 경고음만 발생하나 fuzzy system의 결과에서는 저각성상태로 인한 Nz의 증가를 추종하면서 경고음이 변화하므로 비선형적으로 변화하는 각성변화를 추종할 수 있었다.

그림 9는 performance test를 수행하면서 측정된 피검자의 수면실험 data를 그림 8과 같은 방법으로 나타낸 결과이다. 그림 9의 data는 전반적으로 60초 이하의 IRI 값을 갖는 특징을 보인다. 이것은 졸린 상태에서도 performance test를 수행해야하는 실험 조건에 의하여 피검자가 심리, 생리적으로 불안정하므로 각성이 저하될수록 전체적인 피부 임피던스 변화를 나타내는 Nz는 증가하나 심리적, 생리적 상태에 매우 민감하게 변화하는 IRI는 작은 값을 갖게된다. 본 연구중 이미 발표된 실차실험 결과에서도 저각성상태 임에도 불구하고 계속 운전 하고자하는 의지로 인하여 저각성상태가 되더라도 IRI가 대부분 60초 이하에서 발생되었다[11]. 따라서 이 data는 실차 실험시와 유사한 특성을 갖는다고 볼 수 있다. 그림 9(a)의 data에 표 1을 기준으로한 3단계 경고음법을 적용한 결과(beep(NF))와 fuzzy 시스템을 이용한 결과(beep(FS))를 비교하면, 먼저 3단계 경고음법의 경우 그림 9(a)는 초기 저각성단계인 Nz가 1.2 이상, IRI가 60초 이하인 6분 경에 Small(2)의 경고음을 발생하고 9분 경에 Nz가 1.5 이상이므로 Medium(5) 경고음이 발생되었고 16분 경에 Nz가 2.0 이상이 되자 IRI에 상관없이 Big(10)의 경고음이 발생된다. 그러나 6분에서 8분 동안 각성저하에도 불구하고 2분간 Small 경고음만을 발생하며, 8분에서 16분 동안에는 경고음이 Medium으로 한 단계 높아지긴 하였으나 7분간 지속되는 같은 자극(Medium)으로는 계속되는 저각성상태를 제어하기에 부족하다. 그러나 fuzzy 이론을 이용한 결과는 6분에서 16분까지 저각성상태에 의한 Nz의 변화를 추종하면서 변화된 경고음이 발생할 수 있다. 이는 초기 저각성상태의 변화에 민감하게 제어 할 수 있고, 2.0이상인 부분 및 재각성 영역에서도 Nz의 변화에 따라 적절한 경고음이 발생할 수 있음을 나타낸다. 그림 9(b)에서도 그림 9(a)와 같은 결과를 보였다. 특히, 이 실험에서는 피검자가 25분 이후부터 급격한 각성저하를 보였고 41분 경에 각성상태로 돌아왔다. 시뮬레이션 결과 25분 경에는 두 가지 제어방법 모두 Small에 해당하는 경고음을 발생하나 28분 이후부터 표 1을 이용한 3단계 경고음법의 경우에는 연속된 Medium 경고음을 발생하여 저각성상태를 제어할 수 있으나 28분부터 35분 경까지 각성상태의 변화에 관계없이 같은 출

력(Medium)만을 발생하므로 효과적인 각성제어 효과를 기대할 수 없다. 그러나 fuzzy 이론을 적용한 결과에서는 25분부터 41분까지 Nz의 변화를 추종하면서 변화되므로 3단계 경고음법보다 효과적임을 알 수 있었다. 특히 각각의 fuzzy 추론으로부터 나온 출력값과 Nz와의 연관성을 알아보기 위하여 경고음이 발생된 부분부터 수면직전 상태까지의 상관계수를 비교한 결과 그림 9(a)는 0.995, 그림 9(b)는 0.98의 높은 상관성을 가졌다.

결 론

기존의 각성상태에 따른 3단계 경고음법은 각성상태가 변화되는 영역의 제어가 힘들고, 실차실험시 60초 이하의 많은 IRI가 발생하는 경우에는 경고음이 최고 Medium이므로 적절한 각성제어가 어렵다. 이러한 문제점을 보완하고 실제 운전중의 저각성상태를 제어하기 위하여 각성상태에 따른 영역별 Nz와 IRI의 상관 분포도를 분석하였고 이를 기준으로 기존의 제어기준을 수정하였다. 수정된 기준으로 3단계 경고음법과 fuzzy 이론을 이용한 제어법을 시뮬레이션한 결과, 3단계 경고음법의 경우 수정전의 제어기준에서 각성제어가 어려웠던 IRI가 60이하인 영역에서 Small, Medium, Big의 다양한 경고음이 발생되어 수정전 보다 효과적이었으나 경고음의 level이 3단계뿐이므로, 경고음이 발생된 후 다음단계의 경고음 발생영역이 되기 전까지 같은 출력만을 발생하였다. Fuzzy 이론을 이용한 시뮬레이션 결과는 3단계 경고음법 보다 경고음 출력이 비 선형적으로 변화하는 각성상태를 잘 추종하여 각성제어에 효과적임을 알 수 있었다. 특히, 60초 이하의 IRI영역에서 Nz의 변화에 민감하게 변화되므로 3단계 경고음법의 문제점을 해결 할 수 있었고 초기 각성제어효과를 기대할 수 있으며 이때의 Nz 변화와 fuzzy를 적용한 경고음 출력의 상관계수를 비교한 결과 0.99이상의 값을 가지므로 실 차에 적용할 경우 각성제어에 효과적이라 기대된다.

앞으로 fuzzy 시뮬레이션 한 data를 바탕으로 실 차에 적용할 수 있는 시스템의 구현과 퍼지를 이용한 결과값을 운전자가 직접관찰 할 수 있는 monitoring 시스템개발 및 각성효과를 일으키기 위한 parameter들과 fuzzy 출력값과의 효과적인 제시방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 이상국, "운전자 감시 제어와 교통안전도 향상 연구 동향", 제어.자동화.시스템공학 학회지, vol. 2, no. 1, pp. 37-44, 1996.
2. Nimi, y, Watanabe, T. and Hori, T., "Skin poten-

- tial activities as a function of stage of sleep", J. Physiol. Soc. Japan, vol. 30, pp. 231-244, 1968.
3. Y. Yamamoto, T. Yamamoto, "The characteristics of galvanic skin reflex in low awake level and their application to measurement of sleep", T. IEE Japan, vol. 108-c, no. 7, pp. 457-463, 1988.
 4. 고한우, 이완규, 김연호, "피부 전기활동을 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템", 센서 학회지, vol. 5, no. 3, pp. 55-64, 1996.
 5. 고한우, 김연호, "각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 경고음의 효과 분석", 의공학회지, vol. 18, no. 1, pp. 79-85, 1997.
 6. 고한우, 이완규, "피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4, no. 3, pp. 30-36, 1995.
 7. 정경호, 김현석, 이정수, 김법중, 김동욱, 김남균, "졸음 운전자를 위한 졸음 각성 시스템의 개발에 관한 연구", 대한의용생체공학회 추계학술대회, vol. 18, no. 2, pp. 90-94, 1996.
 8. J-S. Roger Jang Ned Gulley, *Fuzzy logic TOOL BOX, THE MATH WORKS*, pp. 2.53-2.58., 1995.
 9. 이광형, 오길복, 퍼지이론 및 응용Ⅱ, 홍릉과학 출판사, pp. 5.64-5.66. 1991.
 10. 강 훈, "fuzzy control 이론 및 연구동향", 전자 공학회지, vol. 22, no. 11, pp. 1263-1272. 1995.
 11. 고한우, 이완규, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(I) -생리신호 측정에 의한 측정 및 분석-", 자동차공학회 추 계학술대회, vol. (I), pp. 474-480, 1995.

=국문초록=

본 연구에서는 졸음운전 방지를 위한 방법으로 기존의 3단계 경고음법과 fuzzy logic을 이용한 각성도 측정 및 제어법을 시뮬레이션으로 비교 및 분석하였다. 각성상태를 제어하는 방법으로 사용되었던 기존의 각성제어지표는 실 차에서 사용될 경우 효과적이지 못하므로 각성상태에 따른 영역별 Nz와 IRI의 상관분포도를 분석하여 기존의 각성제어지표를 수정하였다. Fuzzy 추론으로는 Sugeno의 방법을 사용하였고 멤버쉽함수와 제어규칙 베이스는 수정된 각성제어지표로부터 결정하였다. 시뮬레이션 결과 60이하의 IRI가 발생하는 경우, Nz의 변화에 따라 두 제어방법 모두 small, medium, big의 경고음이 발생되었으나 3단계 경고음법은 다음 단계의 발생영역이 될 때까지 같은 출력만을 발생한다. 그러나 퍼지추론의 출력은 피검자의 각성수준의 변화에 잘 추종하여 변화되었으므로 3단계 경고음법의 문제점을 해결할 수 있었고 더욱이 퍼지 추론의 출력과 Nz와의 상관계수($r=0.99$)가 매우 높았으므로, 실제 운전시 퍼지추론 방법을 이용한 각성도 평가 및 제어에 적용할 경우 3단계 경고음법 보다 효과적인 것으로 기대된다.