

Formant Frequency as a Measure of Physical Fatigue

Wook Hyun Ha¹, Hong Tae Kim², Sung Ha Park³

¹Instrumentation & Control Engineering Department, KEPCO E&C, Gyeonggi-do, 446-713

²KIOST, Daejeon, 305-343

³Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791

ABSTRACT

Objective: The current study investigated a non-obtrusive measure for detecting physical fatigue based on the analysis of formant frequencies of human voice. **Background:** Fatigue has been considered as a main cause in industrial and traffic accidents. Therefore, it is critical to detect worker's fatigue for accident prevention. **Method:** After running exercises on a treadmill, participants were instructed to read a sentence and their voices were recorded under four different physical fatigue levels. Korean vowels of "아", "어", "오", "우", and "이" from the voice recorded were then used to collect formant 1 frequencies. **Results:** Results of separate ANOVAs showed a significant main effect of physical fatigue on formant 1 frequency of "아", "어", and "이". Furthermore, post-hoc comparisons revealed that formant 1 frequency of "아" was most sensitive to physical fatigue level employed in this experiment. **Conclusion:** Formant 1 frequencies of some vowels significantly decrease as the physical fatigue level increases. **Application:** Potential application of this study includes the development of a measure of physical fatigue state that is free from sensor attachment and requires little preparation.

Keywords: Physical fatigue, Human voice, Praat, Formant frequency

1. Introduction

피로는 다양한 유형의 교통사고를 일으키는 주요 원인으로 널리 알려져 있다(Melamed, 2002; Wright and McGown, 2001). 피로의 누적은 인간의 인지처리 속도 저하를 초래하게 되며, 특히 감지와 인지처리, 의사결정, 반응선택 작업 및 조종 작업을 지속적으로 수행하는 교통시스템 운용자에게 치명적인 위험요소로 작용할 수 있다. 이러한 피로에 의한 위험요인은 교통시스템 관련 작업자뿐만 아니라 모니터링 작업자 등 산업체에서 수행되는 다양한 유형의 작업자에게도 동일하게 작용한다. 따라서 작업자의 피로를 탐지하고 피로의 수준을 측정하는 방법에 대한 연구는 사고방지를 위한 주요한 과제이다.

인간의 피로를 정량적으로 측정하기 위한 방법론에 대한 연구는 많은 분야에서 진행되어 왔다. 인간의 피로수준을 측정하는 방법에는 개인이 느끼는 피로를 주관적 설문문을 통해 스스로 평가하는 주관적 피로도 측정방법과 인간의 생리 신호인 눈의 깜박임, 눈꺼풀 동작, 동공의 움직임(Stern et al., 1994; Caffier, 2002), EEG 자료(Sommer et al., 2005), 신체의 동작, 머리 동작, 표정의 변화 등을 포함한 행동 자료(Vöhringer-Kuhnt et al., 2004)를 분석하는 방법이 있다. 그러나 이러한 피로 측정방법들은 작업자에게 각종 센서를 부착하거나 측정장비를 착용하게 함으로써 사용하기 불편하며 측정방법 또한 복잡하고 어려워 작업현장에 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 작업자에게 불편을 초래하지 않으면서, 간단한 장비와 쉬운 방법을 사용하여 정량적이고 객관적으로 피로 측정이 가능한 방법에 대한 연구가 요

Corresponding Author: Sung Ha Park, Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791.

Mobile: +82-10-3527-8477, E-mail: shpark@hnu.kr

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

구되고 있다.

인간이 음성을 발생할 때 성도(vocal tract)의 모양을 변형하여 생긴 좁힘점의 크기와 위치에 따라 성도의 공명 주파수가 변하게 되는데 이 관계를 설명한 이론을 좁힘점이론(Perturbation Theory)이라고 한다(Yang, 1998). 이 이론에 따르면 인간은 후두에서 원음을 생성하고 이 원음을 성도의 단면적 또는 모양을 변형하여 통과시킴으로써 서로 다른 모음들을 발생한다고 설명할 수 있다(Fant, 1960; Yang, 1998). 인간 음성의 분석에 자주 사용되는 포먼트(Formant)는 음성 스펙트럼의 스펙트럴 피크(spectral peaks)를 말하며 스펙트로그램에서 진폭의 피크(amplitude peak)로 측정한다(Fant, 1960; Titze, 1994). 여기에서 가장 낮은 주파수를 갖는 포먼트를 제1포먼트(F1), 그 다음을 순차적으로 제2포먼트(F2), 제3포먼트(F3) 등으로 부르며 일반적으로 모음의 분석에는 F1과 F2를 사용한다.

Krajewski 등(2008)은 피로 및 졸음과 관련하여 인간의 음성에 영향을 줄 수 있는 육체적 또는 생리적인 변화로 근육의 긴장감소(안면의 표정 변화와 미소의 감소, 인두의 이완, 성도의 이완 등), 체온의 저하에 따른 성도벽과 공기의 마찰 변화, 인지처리 속도의 저하, 그리고 호흡의 변화 등이 있다고 분석하였다. 이와 같은 피로에 의한 생리적 변화는 음성의 변화를 초래할 수 있으며, 음성의 음향학적인 포먼트 주파수(formant frequency) 분석을 통하여 그 변화의 정도를 탐지할 수 있다.

인간이 느끼는 피로의 정도는 많은 육체적, 심리적 요인들에 의해 복합적인 영향을 받으며 주관적인 측정이 강하기 때문에 피로를 유형별로 정의하고 객관적으로 정량화하는 일은 쉽지 않다. 육체적인 노력이 주로 요구되는 업무를 지속적으로 수행하는 작업자들은 작업 중에 피로의 누적을 호소하게 된다. 육체적 피로를 정신적 또는 심리적인 피로와 구분하여 명확히 정의하기는 어려운 점이 있으나, Christensen (1960)은 육체적인 피로는 작업 또는 작업환경이 원인이 되어 인체 내의 균형을 유지하려는 항상성(homeostasis)이 교란된 상태라고 정의하고 있다.

본 연구는 인간의 음성분석을 기반으로 작업자의 피로를 탐지하고 피로의 수준을 예측하는 새로운 방안을 시도하고자 한다. 피로에 대한 정의와 유형이 광범위한 점을 고려하여 육체적인 피로에 국한하여 실험연구를 수행하였으며, 세부적으로는 육체적인 피로수준에 따라 모음을 발생하는 인간의 음성에 대한 제1포먼트 주파수 변화를 분석하고, 이를 통하여 육체적인 피로의 수준을 탐지하는 방안을 제안한다.

2. Method

2.1 Participants

평균 나이가 23세이며 최근 5년 동안 호흡기를 비롯한 성대 및 후두 질환과 근골격계질환 병력이 없는 남성 대학생 8명이 실험에 참여하였다. 피실험자는 실험에 참여하기 전에 본 연구와 관련된 실험의 목적, 내용, 위험성 등에 대해 설명을 들었으며 실험참여에 대한 서면 동의를 하였다.

2.2 Apparatus

실험에는 17인치 LCD 모니터, 음성녹음기(Sony, ICD-SX813), 트레드밀(Bestop, kmax-1.5), 그리고 프라트(Praat) 프로그램(Boersma and Weenink, 2012)이 사용되었다. 트레드밀은 피실험자에게 실험에서 정한 육체적 피로수준을 부과하기 위해 사용되었다. LCD 모니터는 실험 중 피실험자가 발생할 문장을 제시하기 위한 시각표시장치이며, 음성녹음기는 피실험자가 발생한 내용들을 녹음하기 위한 장치이다. 음성분석 프로그램인 프라트는 소스코드가 공개된 소프트웨어로서 피실험자들로부터 녹음한 음성의 포먼트 주파수를 분석하기 위해 사용되었다.

2.3 Praat setup for formant analysis

본 연구에서는 음성분석 프로그램인 프라트를 사용하여 포먼트 분석을 수행하였다. 따라서 성도 모양의 변화인 포먼트 궤적을 자동으로 추출하기 위해 해당 음성 구간에서 지정한 수의 포먼트를 추출하고 각 포먼트의 위치에 대한 기본값을 생성하는 포먼트(Burg)를 사용하였으며 실험에 사용된 설정값은 Figure 1과 같다(Boersma and Weenink, 2012; Yang, 2012).

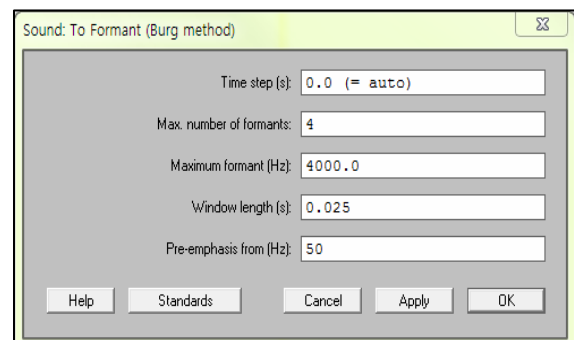


Figure 1. Parameter setup display for formant analysis

Figure 1에서 시간스텝(Time step)은 포먼트 값을 분석할 시간 간격으로 기본 설정을 이용하여 윈도우길이의 25%와 같도록 하였다. 최대 포먼트 수(Max. number of formants)는 분석하고자 하는 포먼트 개수를 지정하는 것으로 제4포먼트까지로 설정하였다. 최대 포먼트(Maximum formant)는 포먼트 개수마다 평균 1,000Hz를 기본으로 사용하기 때문에 최대 포먼트 수를 4로 지정한 것과 부합하도록 4,000(Hz)로 지정하였다. 또한, 윈도우길이(Window length)는 분석할 음성 구간을 지정하는 것으로 기본값으로 정해져 있는 25(millisecond)로 설정하였다. 고주파대역강조(Pre-emphasis from)는 고주파로 갈수록 실제 음성의 진폭이 낮기 때문에 이를 강조하여 선명한 포먼트 값을 추출하기 위한 고역강조필터를 말하는 것으로 강제적인 증폭없이 기본 음성에 대한 포먼트 값을 가장 선명하게 추출할 수 있는 수준인 50(Hz)로 설정하였다(Yang, 2012).

2.4 Experimental design

5개의 한국어 모음 "아", "어", "오", "우", "이" 각각에 대하여 4단계의 육체적 피로수준에서 반복 측정을 수행하였다. 종속변수는 피실험자로부터 녹음한 음성 중에 포함된 각 모음들을 음성분석 프로그램인 프라트로 분석하여 얻어진 제1포먼트 주파수(F1)이다. 독립변수는 4개 단계의 육체피로로써 1단계는 휴식상태의 피로수준이며, 2, 3, 4단계는 트레드밀에서의 운동량을 다르게 함으로써 조절하였다. 운동량은 Table 1과 같이 트레드밀의 속도, 운동시간, 바닥면의 경사각을 조절하여 부과하였다. ACSM(2000)의 가이드라인에 따라 트레드밀에서의 수평운동과 수직운동 성분을 분석하여 계산된 산소소비량, 총 에너지소비량 및 분당 에너지소비량의 예측값은 Table 2와 같다.

2.5 Experimental procedure

실험참여에 동의한 피실험자에게는 휴식수준인 1단계에서

Table 1. Treadmill speed, inclination, and running time for different fatigue levels

	Treadmill speed (m/min)	Running time (min)	Treadmill Inclination (%Grade)
1단계 (휴식수준)	-	-	-
2단계	100.0	10	3.0
3단계	133.3	10	3.0
4단계	166.6	10	3.0

Table 2. Predicted oxygen uptake and energy expenditure for different fatigue levels

	Oxygen uptake (l/min)	Total energy expenditure (kcal)	Energy expenditure/min (min/kcal)
1단계 (휴식수준)	0.245	12.25	1.225
2단계	1.134	56.70	5.670
3단계	1.430	71.50	7.150
4단계	1.726	86.30	8.630

의 음성분석을 위해 편안한 자세에서 안정을 취하게 한 후에 다섯 가지 모음 "아", "어", "오", "우", "이"가 포함된 문장을 읽게 하고 녹음을 실시하였다. 그 후 피실험자들은 Table 2에 정해진 바와 같이 육체피로 단계별로 트레드밀에서 10분 달리기를 실시한 후 다섯 가지 모음이 포함된 문장에 대한 녹음을 실시하였다.

휴식수준인 1단계를 제외한 나머지 세 수준의 피로 단계는 무작위의 순서로 부과되었으며, 휴식수준을 제외한 나머지 3개 피로 단계에서의 실험은 피로누적에 의한 영향을 최소화하기 위해 각기 다른 날 실시하였다.

3. Results

육체피로 부하 4수준에서 각각의 모음에 대한 제1포먼트 주파수 자료에 대하여 통계분석용 소프트웨어 Statview (version 5.0)를 이용한 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분산분석과 분산분석 후의 수준 간 평균비교를 위한 통계적 유의수준은 전체적으로 5%로 설정하였다.

3.1 Formant 1 frequency analysis of "아"

"아" 음성의 제1포먼트 주파수에 대한 분산분석을 수행한 결과, 육체피로에 대한 주효과가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F_{3,28} = 58.497, p < .0001$). Figure 2는 육체피로 각 단계에서의 제1포먼트 주파수 평균을 비교하여 보여주고 있다.

분산분석 후 Tukey/Kramer의 수준 간 평균비교(Multiple comparisons)를 수행한 결과, 각 육체피로 단계에서의 제1포먼트 주파수는 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 3 참조). 이 결과는 피실험자가 점차 높은 강도의 육체피로를 경험하면 모음 "아"를 발음할 때 제1포먼트 주파수가 유의하게 줄어드는 것을 말해주고 있다.

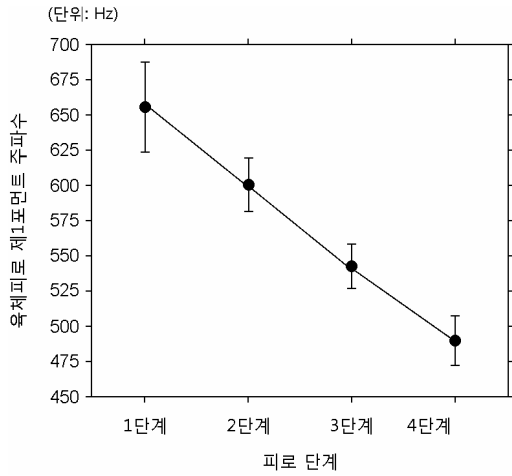


Figure 2. Mean formant 1 frequency of "어" for each physical fatigue level(Error bars indicate standard deviaton values)

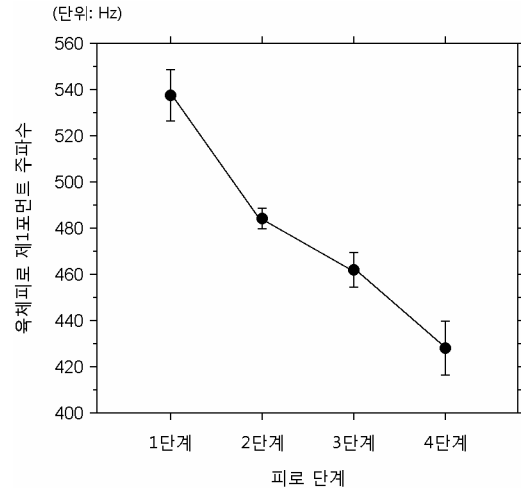


Figure 3. Mean formant 1 frequency of "어" for each physical fatigue level(Error bars indicate standard deviaton values)

Table 3. Tukey/Kramer's pairwise multiple comparisons for "어"(S indicates that means are significantly different)

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
1단계/2단계	55.648	36.627	S
1단계/3단계	114.704	36.627	S
1단계/4단계	167.671	36.627	S
2단계/3단계	59.056	36.627	S
2단계/4단계	112.024	36.627	S
3단계/4단계	52.967	36.627	S

Table 4. Tukey/Kramer's pairwise multiple comparisons for "어"(S indicates that means are significantly different)

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
1단계/2단계	53.484	34.477	S
1단계/3단계	75.981	34.477	S
1단계/4단계	110.026	34.477	S
2단계/3단계	22.497	34.477	
2단계/4단계	56.542	34.477	S
3단계/4단계	34.045	34.477	

3.2 Formant 1 frequency analysis of "어"

"어" 음성의 제1포먼트 주파수에 대한 분산분석 결과에서도 육체피로에 대한 주효과가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F_{3,28} = 26.74, p < .0001$). Figure 3에 육체피로 각 단계에서의 제1포먼트 주파수 평균이 비교되어 있다.

Tukey/Kramer의 수준 간 평균비교 결과를 보면 육체피로 4단계 중에서 휴식수준인 1단계와 나머지 단계(2, 3 및 4단계) 간, 그리고 2단계와 4단계 간의 평균은 유의한 차이를 보이고 있지만 나머지 수준 간(2단계/3단계, 3단계/4단계)에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4 참조). 이와 같은 결과는 모음 "어"를 발성하는 경우 육체적 피로를 받은 후에는 휴식상태에 비교하여 제1포먼트 주파수가 유의하게 감소하지만, 점차 강한 피로를 받아도 그 변화는 크지 않음을 말해주고 있다.

3.3 Formant 1 frequency analysis of "오" and "우"

"오"와 "우" 음성의 제1포먼트 주파수에 대한 분산분석 결과에서는 육체피로에 대한 주효과가 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다(각기 $F_{3,28} = 0.878, p = 0.4644$; $F_{3,28} = 1.030, p = 0.3943$). 이 결과는 "오"와 "우" 음성의 포먼트 주파수는 실험에서 부과된 단계별 육체적 피로에 영향을 받지 않음을 의미한다.

3.4 Formant 1 frequency analysis of "이"

"이" 음성에 대한 분석 결과, 육체피로에 대한 주효과가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F_{3,28} = 4.837, p < .0001$). Figure 4에 육체피로 각 단계에서의 제1포먼트 주파수 평균이 비교되어 있다. Tukey/Kramer의 수준 간 평균비교를 수행한 결과, 1단계/2단계, 1단계/4단계 간의 평균은 유의한 차이를 보이고 있지만 나머지 단계 간(1단계/3

단계, 2단계/3단계, 2단계/4단계, 3단계/4단계)에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다(Table 5 참조).

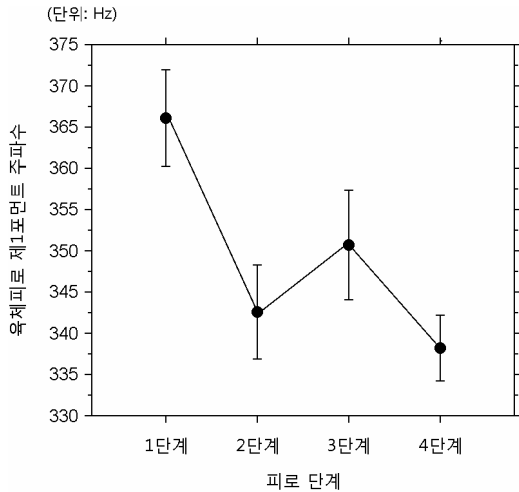


Figure 4. Mean formant 1 frequency of "이" for each physical fatigue level(Error bars indicate standard deviation values)

Table 5. Tukey/Kramer's pairwise multiple comparisons for "이"(S indicates that means are significantly different)

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
1단계/2단계	23.820	21.727	S
1단계/3단계	15.548	21.727	
1단계/4단계	28.058	21.727	S
2단계/3단계	-8.272	21.727	
2단계/4단계	4.238	21.727	
3단계/4단계	12.510	21.727	

4. Conclusion

음성의 포먼트 주파수 변화를 활용하여 인간의 육체적 피로상태를 탐지하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 실험 결과, 모음 "아", "어", "이" 음성에 대한 제1포먼트 주파수는 육체적 피로 수준에 따라 유의한 차이가 발견되었으나, "오"와 "우" 음성의 제1포먼트 주파수는 유의한 변화가 없었다.

유의한 변화가 발견된 "아", "어", "이" 음성 중에서, 특히 "아" 음성은 휴식수준을 포함하여 본 실험에서 설정한 모든 피로수준 간에서 제1포먼트 주파수의 변화가 유의하였다. 이러한 결과는 "아" 음성의 제1포먼트 주파수 분석을 통하여

작업자의 육체적 피로수준을 예측할 수 있음을 의미한다.

"아" 음성의 제1포먼트 주파수가 육체적 피로에 따라 가장 민감하게 변화하는 이유는 본 실험의 결과만으로는 명확하지 않으나 몇 가지 간접적인 요인들을 생각해 보면 다음과 같다. 첫째는 서론에서 언급하였듯이 피로에 의한 생리학적 변화에 기인하여 인두의 이완, 성도의 이완, 체온의 변화에 따른 성도벽과 공기의 마찰 변화, 호흡의 변화 등이 음성에 영향을 주는 것으로 추측할 수 있다(Krajewski et al., 2008). 두 번째로 모음 "아" 음성은 발음의 특성상 다른 모음들에 비교하여 구강은 크게 하고 인강은 좁게 하여 발생된다(Yang, 2012). 따라서 발성기관에 영향을 줄 수 있는 어떤 피로요인에 의해 구강과 인강 크기의 변화 폭이 민감하게 반응할 수 있으며 그에 따른 음성의 변화 또한 크게 나타날 수 있다. 따라서 육체적 피로가 구강과 인강의 크기를 제어하는 턱 근육에 영향을 줄 수 있으며 그 결과로 음성의 변화가 가장 민감하게 나타났을 가능성을 예상할 수 있다.

본 실험의 결과는 음성을 활용하여 인간의 피로를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제안하고 있다. 모음 "아"의 포먼트 주파수를 활용하여 대형 운송수단의 운전자 또는 모니터링 작업 등 이와 유사한 형태의 작업을 수행하는 작업자들의 피로를 평가하는 방법은 기존의 방법에 비해 많은 장점이 있다. 우선 포먼트 주파수 분석을 위해 작업자의 음성 자료를 획득하는 일은 간단한 녹음장치만을 사용하면 되므로 편리하며 인체에 센서를 부착하거나 특수한 장비를 설치하는 불편함이 없다. 또한 작업과 연관된 음성통신 과정에서 녹음이 가능하기 때문에 작업자의 사전 인지에 따른 편의된 결과를 방지할 수 있다는 장점도 있다.

그러나 이와 같은 음성분석을 통한 피로평가 방법이 실용화되기 위해서는 추가적인 연구가 요구된다. 산업체에서 대부분의 작업자는 인지 작업과 육체 작업에 의한 복합적인 피로요인에 직면해 있는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 단순히 육체적 피로를 4단계로 나누어 비교 분석하였다. 향후 정신적 피로가 부과되는 작업환경 또는 육체적 피로와 정신적 피로가 복합적으로 작용하는 작업환경에서의 음성분석 연구가 보완되어야 할 것으로 보인다. 또한 대형 운송수단의 운전자, 야간 모니터링 작업자 등과 같이 장시간 지속적으로 작업하는 작업자들의 가장 큰 위험요소인 수면부족에 따른 음성분석 연구도 추가되어야 할 것으로 판단된다.

끝으로 본 연구의 결과는 실험실 환경에서 남성 피실험자만을 대상으로 적용된 육체적 피로 조건에 국한하여 해석되어야 한다. 실험에서 트레드밀을 사용하여 피로를 부과하였으나, 향후 특정 직업군의 남녀 작업자를 대상으로 해당 작업환경에서 실제로 부과되는 피로요인에 대한 실험을 통해 보다 현실적인 연구가 수행될 필요가 있다.

Acknowledgements

This paper has been supported by 2012 Hannam University Research Fund.

References

- American College of Sports and Medicine. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- Boersma, P. and Weenink, D., Praat: doing phonetics by computer, *Praat Homepage*, <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>, (retrieved June 20, 2012).
- Caffier, P.P., The Spontaneous Eye-Blink as Sleepiness Indicator in Patients with Obstructive Sleep Apnoea Syndrome-a Pilot Study, *Sleep Medicine*, 2, 155-162, 2002.
- Christensen, E.H., "Muscular Work and Fatigue", Ch. 9 in K. Rodahl and S. M. Horvath(eds.), *Muscle as a Tissue*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960.
- Fant, G., *Acoustic Theory of Speech Production*. Mouton & Co, The Hague, Netherlands, 1960.
- Krajewski, J., Wieland, R. and Batliner, A., An Acoustic Framework for Detecting Fatigue in Speech Based Human-Computer-Interaction. In K. Miesenberger et al.(eds), *ICCHP '08 Proceedings of the 11th international conference on Computers Helping People with Special Needs*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 54-61, 2008.
- Melamed, S., Excessive Daytime Sleepiness and Risk of Occupational Injuries in Non-Shift Daytime Workers, *Sleep*, 25(3), 315-322, 2002.
- Sommer, D., Chen, M., Golz, M., Trunschel, U. and Mandic, D., Fusion of State Space and Frequency Domain Features for Improved Microsleep Detection. In: W. Dutch et al.(Eds.), *Int Conf Artificial Neural Networks(ICANN 2005)*, Springer: Berlin, 753-759, 2005.
- Stern, J.A., Boyer, D. and Schroeder D., Blink Rate: A Possible Measure of Fatigue, *Human Factors*, 36, 285-297, 1994.
- Titze, I.R., *Principles of Voice Production*, Prentice Hall, 1994.
- Vöhringer-Kuhnt, T., Baumgarten, T. Karrer, K. and Briest, S., Wierwille's Method of Driver Drowsiness Evaluation Revisited, *Proceeding of International Conference on Traffic & Transport Psychology*, 2004.
- Wright, N. and McGown, A., Vigilance on the Civil Flight Deck: Incidence of Sleepiness and Sleep during Long-Haul Flights and Associated Changes in Physiological Parameters, *Ergonomics*, 44, 82-106, 2001.
- Yang, B., A Study of Vowel Formant Variation by Vocal Tract Modification, *Journal of the Korean Society of Speech Sciences*, 3, 83-92, 1998.
- Yang, B., *Praat Homepage*, <http://fonetiks.info/praat/>, (retrieved May 1, 2012).

Author listings

Wook Hyun Ha: hawh@kepco-enc.com

Highest degree: MS, Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University

Position title: Assistant Manager, Instrumentation & Control Engineering Department, KEPCO E&C

Areas of interest: Human Factors in Power Plants Safety

Hong Tae Kim: hongtae.kim@kiost.ac

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Korea University

Position title: Principal Researcher, KIOST

Areas of interest: Human Factors in Marine Safety

Sung Ha Park: shpark@hnu.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Texas Tech University

Position title: Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University

Areas of interest: Ergonomics, Work design, Safety engineering

Date Received : 2012-10-09

Date Revised : 2013-01-11

Date Accepted : 2013-01-11