

소방용 공기호흡기 착용에 따른 신체반응

방창훈

경남대학교 소방방재공학과

Physical Response of Human Body Wearing Self Contained Breathing Apparatus

Chang-Hoon Bang

Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kyungnam University

(Received February 17, 2012; Revised March 27, 2012; Accepted October 12, 2012)

요 약

본 연구는 소방공무원이 착용하는 소방용 공기호흡기(SCBA)가 신체에 미치는 영향을 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 연구결과 소방용 공기호흡기를 착용한 경우가 반바지를 입은 경우보다 평균피부온도(7%), 심박수(28%), 운동자각도(65.4%), 대사당량(70.7%) 등이 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며($p < .05$), 호흡수는 유의하지 않았다. 이상의 연구결과 소방용 공기호흡기의 착용은 신체에 과중한 부담을 미치는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The aim of study intends to investigate physical response of human body wearing Self Contained Breathing Apparatus and to provide the base data for the safety of firefighter. The results of the study are as follows. when wearing SCBA, the mean skin temperature (7%), heart rate (28%), rate of perceived exertion (65.4%), metabolic equivalents (70.7%) were significantly higher ($p < .05$), respiratory rate was not statistically significant. It is concluded that wearing SCBA causes significant stress to the physical systems.

Keywords : Firefighter, SCBA

1. 서 론

화재현장에서 소방공무원은 화염, 연소가스, 고온물 등의 위험물로부터 신체를 보호하고 신속한 화재진압과 인명구조를 위하여 다양한 보호장구를 착용한다.

도시화로 인한 건물의 집적화는 화재하중을 증가시켰으며, 각종 신합성 소재의 사용은 화재시 발생하는 열량을 과거와는 비교할 수 없을 만큼 높게 증가시키고 있다. 또한 건물의 단열화는 에너지의 집적으로 화재성장을 더욱 빠르게 발달시켜 화재진압을 하는 소방공무원에게는 과거와는 다른 매우 가혹한 열적환경에 놓이게 한다⁽¹⁾. 이에 따라 더욱 열악해지는 화재현장에서 소방공무원이 위험물에 대비하고 초고온환경에 견딜 수 있도록 보호장구의 기준이 강화되고 이에 따라 소방방화복의 성능은 예전에 비하여 향상되었다.

하지만 개선된 소방방화복의 다층화된 구조는 무게를

증가 시켰으며 수증기의 배출이 어려워지고 열교환율이 감소하여 체온조절을 어렵게 만들었다. 이는 직무 수행시 소방공무원을 더욱 힘들게 하였으며, 다수의 연구자들은 소방방화복을 입고 작업시 에너지소모량을 증가시킨다고 보고하고 있다^(2,3).

우리나라에서도 소방용 보호장구에 대한 기준이 개선되어 예전보다는 우수한 성능을 나타내고 있으나 일선 소방공무원들은 여전히 무게감과 착용성에 대하여 개선의 요구가 있으며 소방용 보호장구 착용이 신체에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 전무한 현실이다.

화재현장에서 발생하는 고농도의 연소가스는 가연물의 종류, 화재의 온도, 연소과정, 산소의 유무, 건물의 특성 등에 따라 차이가 있으나 Avran⁽⁴⁾ 등의 연구에서 일산화탄소, 염화수소, 시안화수소, 이산화질소, 이산화탄소, 벤젠 등의 연소가스가 검출된다고 하였으며, 유해가스가 다량 존재하는 환경에서 소방공무원은 화재를 진압하고 재

실자들을 구조·구급하고 있다. 이러한 작업을 통하여 발생한 유행한 영향은 오랜 시간에 걸쳐 몸속에 축적이 되어 나타나기 때문에 대응책 마련이 쉽지 않은 실정이다.

이러한 유해가스로부터 신체를 보호하기 위하여 소방공무원은 소방용 공기호흡기를 착용하고 직무를 수행하고 있으나, 과중한 무게감과 불편한 착용감 및 신체활동의 제약 등 여러 문제점이 발생하고 있다.

Raven⁽⁵⁾ 등은 소방공무원의 공기호흡기 착용으로 작업 능력이 20% 정도 감소한다고 보고하였으며, White⁽⁶⁾ 등은 근무복, 근무복과 공기호흡기 착용, 방화복과 공기호흡기 착용, 화학방화복과 공기호흡기 착용 등의 경우에 대하여 연구한 결과 가장 무거운 방화복이 잠재적으로 신체의 온도조절과 심장에 위험한 정도의 스트레스를 주는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과 소방용 공기호흡기의 착용은 신체에 상당한 영향을 미치지만 국내에서 이에 대한 체계적이고 과학적인 실험을 통한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소방공무원이 착용하는 소방용 공기호흡기(SCBA, Self Contained Breathing Apparatus)가 신체에 미치는 영향을 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 경남 K대학교 재학 중이며, 근골격계 질환이 없는 소방공무원을 희망하는 건강한 남학생 9명을 대상으로 본 연구의 취지를 밝히고, 실험에 자발적으로 동의한 학생들을 피험자로 선정하였으며, 연구 참여에 앞서 본 연구에 대한 충분한 설명과 측정절차에 따르게 주의 사항을 알려주었다. 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2.2 연구방법

본 연구에서는 동일한 실험조건에서 소방용 공기호흡기를 착용한 경우와 반바지만을 착용한 경우에 대한 비교연구를 실시하였다.

실험에서 소방용 공기호흡기를 착용한 경우는 국내 A사에서 생산한 소방방화복과 소방용 공기호흡기를 사용하였으며 전체 무게는 18.6 Kg이다.

실험은 1주간의 여유를 두고 실시하였다.

실험자는 실험준비실에서 체중을 측정하고, 온도, 심박호흡수 측정장치를 부착한 후 10분 정도 안정시킨 다음

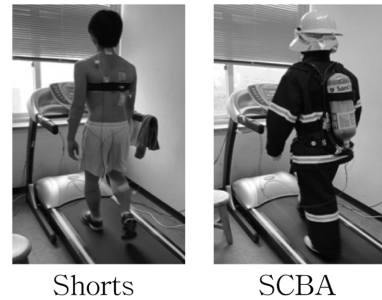


Figure 1. Photos of case of shorts and SCBA.

실험실로 입장 후 실험을 실시하였다.

온도조건은 열중증온도(WBGT, Wet Bulb Globe Temperature Index)⁽⁷⁾를 사용하였으며, WBGT 20°C(혹구 온도 27.1°C, 건구온도 26.8°C, 습도 37.9%)로 설정하였다. WBGT는 Yaglou 등에 의하여 고온 환경을 평가하는 온열지표로 제안되었으며, 근로자들의 열환경 적합성 여부를 판정하는 지표로 ISO⁽⁸⁾, NISOH⁽⁹⁾, ACGIH⁽¹⁰⁾ 등에서 추천하고 있다.

실험자에게 트레드밀을 사용하여 운동부하검사를 실시하였으며, 운동부하는 4METs(4.1 km/h, 3%)의 강도로 20분 동안 실시하였다.

평균피부온도(Mean skin temperature)는 ISO 9886⁽¹¹⁾에 따른 4점 측정법을 이용하였으며, 평균피부온도는 서모스탯(Thermostat)을 이용하여 측정하였으며 데이터로거를 이용하여 데이터자료를 정리하였다.

심박수(Heart rate)와 호흡수(Respiration rate)는 심박호흡 측정센서를 가슴에 착용하였으며 무선으로 데이터를 전송하여 컴퓨터에서 처리하였다.

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)는 운동내성을 관찰하는 신뢰할 만한 지표이며 체력수준, 환경수준, 일반적인 피로수준에 영향을 받으며, 피로가 압박함을 예측할 수 있는 지표로 이용되며, 범위의 척도는 0에서 10까지로 하고, 일반적으로 0은 “매우매우 가볍다”이며 대부분 외관상 건강한 사람들의 피로 한계는 “매우매우 힘들다”의 10까지이다⁽¹²⁾. 본 실험에서는 5분마다 측정하였다.

대사당량(MET)은 박⁽¹³⁾이 제안한 심박수와 체중을 고려한 회귀식을 이용하여 에너지소비량을 계산한 후 대사당량으로 변환하였다.

평균피부온도, 심박수, 호흡수 및 운동자각도는 운동시작 후 매 5분마다 측정하였다.

2.3 결과처리

모든 자료의 처리는 SPSS 14.0을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 산출하였다. 최대 신체활동 전, 후의 체력검사는 paired t-test로 비교하였으며, 유의도는 .05로 설정하였다.

Table 1. Characteristics of the Subjects (n=9)

| Age (yr) | Height (cm) | Weight (Kg) |
|-----------|-------------|-------------|
| 21.9±0.33 | 176.4±3.75 | 72.8±7.88 |

3. 결과 및 논의

Figure 2에 반바지(Shorts)를 착용한 경우와 소방용 공기 호흡기(SCBA)를 착용한 경우의 평균피부온도(Mean skin temperature)를 나타내었다.

반바지를 착용한 경우에는 운동하고 있는 동안 평균피부온도가 일정한 수준을 유지하고 있으며 약 0.2 °C 상승하였다. 소방용 공기호흡기를 착용한 경우에는 운동을 시작한 후 평균피부온도가 10분간 지속적으로 상승하였으며, 이후 완만하게 상승하였다. 실험 전후 평균피부온도가 2.1 °C 정도 상승하였다. 즉 소방용 공기호흡기의 착용은 작업부하를 가중시키고 신체대사열의 발생을 촉진하여 더 많은 에너지를 소모하게 한다. 이러한 결과는 다른 연구자들과 유사하며, Rossi⁽¹⁴⁾의 경우 15분 운동후의 소방공무원의 직장온도는 주위온도 31 °C에서 0.6 °C, 38 °C에서 1.0 °C 정도 상승한다고 보고하였다. 또한 Smith 등⁽¹⁵⁾은 약 6분간의 실제 소방작업과 10분간의 휴식을 3회 반복한 결과 직장의 온도가 1.4 °C 정도 증가한다고 하였다.

소방방화복은 외부의 고온 환경으로부터 신체를 보호하기 위한 단열성을 매우 높게 하며 이는 작업 활동으로 인해 발생하는 신진 대사열과 땀의 방출을 억제하여 체온 조절능력을 저하시키고 신체온도 상승을 초래하게 된다. 신체 온도상승은 체온조절능력의 저하와 호르몬과 면역계에 상당한 영향을 끼치며 열스트레스를 유발하게 되며 열중증이 발생할 가능성이 증가한다.

운동중의 심박수(Heart rate) 변화를 Figure 3에 나타내었다.

반바지를 착용한 경우의 심박수는 5분경까지 증가하고 이후 일정하게 유지되며 20분경에 약간 낮게 나타났으며 실험전·후 약 26.2 % 증가하였다. 소방용 공기호흡기를 착용한 경우에는 5분까지는 급격히 상승하고 이후 상승폭은 감소하지만 지속적으로 상승하여 실험 종료시에는 처음에 비하여 약 55.9 % 상승하였다.

운동시작과 동시에 심박수가 상승하는 것은 작업근육과 관절부에 있는 수용체로부터의 신경반사가 원인이며, 운동이 지속됨에 따라 순환호르몬의 증가와 혈중산소, 이산화탄소 농도 및 pH의 변화 등의 화학적 변화가 심장운동에 영향을 미치게 되어 심박수가 증가한다.

Figure 4에서 호흡수(Respiration rate)는 반바지 착용 경우와 소방용 공기호흡기를 착용한 경우 모두 5분경까지 급격히 상승 후 일정하게 유지되었으며 두 경우 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

운동초기의 급격한 호흡수 증가는 작업근 활동개시와 더불어 근과 관절수용체로부터의 신경자극이 호흡을 조절하는 호흡중추에 영향을 미치기 때문이며, 이후 혈액내의 이산화탄소와 젖산 등의 증가로 인한 화학수용기의 자극으로 완만한 상승이 일어난다⁽¹⁶⁾.

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)를 Figure

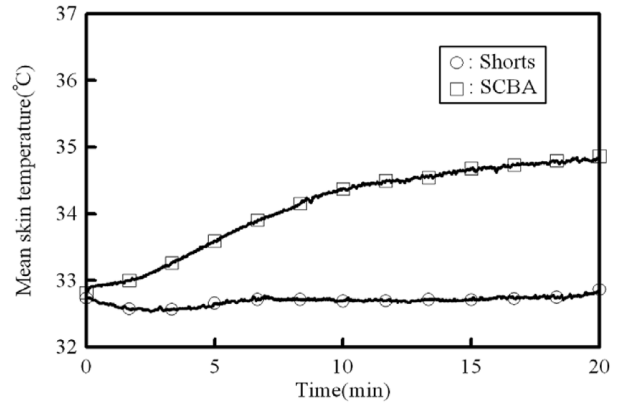


Figure 2. Mean skin temperature during walking in the workload 4 METs.

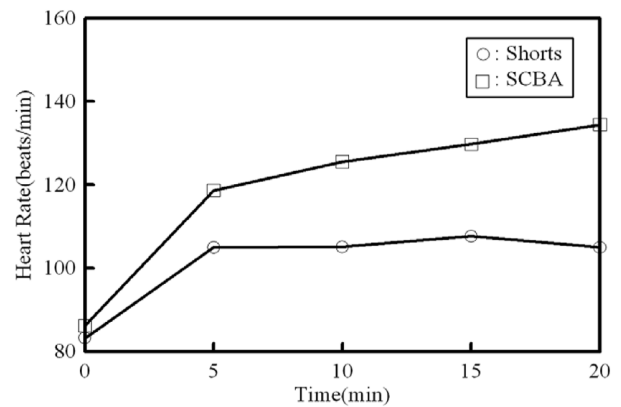


Figure 3. Heart rate during walking in the workload 4 METs.

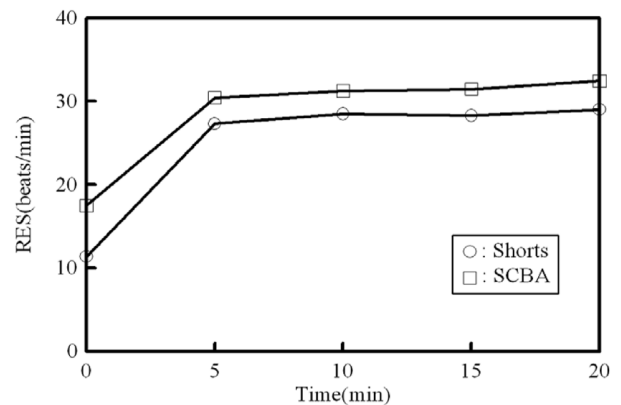


Figure 4. Respiration rate during walking in the workload 4 METs.

5에 나타내었으며, 운동자각도는 주관적으로 느껴지는 “힘듦”의 정도를 나타낼 수 있으며, 이러한 느낌은 신체적 스트레스, 체력수준, 환경조건 등에 영향을 받는다.

소방용 공기호흡기를 착용한 경우가 처음부터 높게 나타났으며, 시간이 지남에 따라 실험자들이 점점 힘들어 하였다. 반바지를 입은 경우는 “약간 가벼움” 정도를 표시하였다.

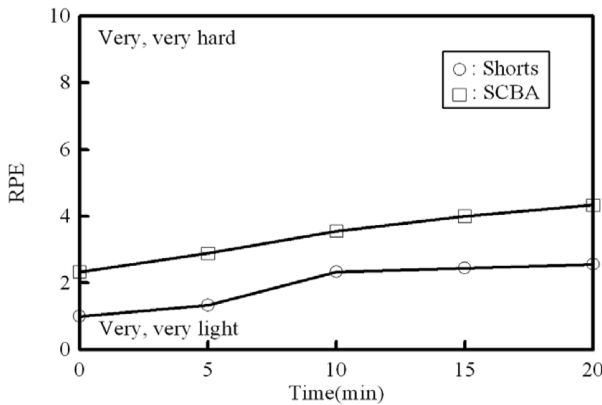


Figure 5. Rating of perceived exertion during walking in the workload 4 METs.

Table 2에 운동완료시의 평균피부온도(Mean skin temperature), 심박수(Heart rate), 호흡수(Respiration rate), 운동자각도(RPE), 대사당량(MET)의 신체지수 변화를 나타내었다.

실험 전후의 평균피부온도는 반바지의 경우 32.7 °C, 소방용 공기호흡기의 경우 약 35.0 °C를 나타내어 7 % 정도 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였다($p < .05$).

심박수는 반바지의 경우 분당 105회, 소방용 공기호흡기의 경우 분당 134회로 소방용 공기호흡기의 경우가 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$). 즉 소방용 공기호흡기의 착용이 신체에 영향을 미치며 28 % 정도 높게 나타남을 알 수 있다.

호흡수는 소방용 공기호흡기의 경우가 11.7 % 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 운동자각도는 소방용 공기호흡기를 착용한 경우가 유의하게 65.4 % 정도 높게 나타났었다($p < .05$).

대사당량⁶⁾은 안정시의 산소소비를 1 MET로 환산한 것으로 소방용 공기호흡기의 경우가 반바지의 경우 보다 70.7 % 높게 나타났으며, 통계적으로 유의하게 나타났었다($p < .05$). 반바지를 착용한 경우에는 실험조건인 운동부하

4 METs와 거의 동일한 4.1 METs가 나타났으나, 소방용 공기호흡기를 착용한 경우에는 7 METs로 측정되었으며 이는 휴식시의 산소소비량의 7배에 해당하는 운동의 강도 또는 에너지소비량을 나타내는 것을 의미하며, 실험 운동 부하보다 3 METs 더 높게 나타났다. 즉 상승분 만큼이 소방용 공기호흡기의 영향으로 판단된다. 추후 이에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소방용 공기호흡기 착용에 따른 신체변화에 대하여 연구를 수행하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

첫째, 평균피부온도(Mean skin temperature)는 반바지의 경우 32.7 °C, 소방용 공기호흡기의 경우 약 35.0 °C를 나타내어 7 % 정도 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였다($p < .05$).

둘째, 심박수(Heart rate)는 반바지의 경우 분당 105회, 소방용 공기호흡기의 경우 분당 134회로 소방용 공기호흡기의 경우가 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$).

셋째, 호흡수(Respiration rate)는 소방용 공기호흡기의 경우가 반바지의 경우 보다 11.7 % 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 운동자각도(RPE)는 소방용 공기호흡기를 착용한 경우가 유의하게 65.4 % 정도 높게 나타났었다($p < .05$).

넷째, 대사당량(METs)은 소방용 공기호흡기의 경우가 반바지의 경우 보다 70.7 % 높게 나타났으며, 통계적으로 유의하게 나타났었다($p < .05$).

이상의 연구결과에서 소방용 공기호흡기의 착용은 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 연구되었다.

최근 소방공무원의 격무로 인한 여러 가지 문제점이 사회적으로 논의되고 있으나, 이에 대한 과학적이고, 정량적인 기초 데이터는 매우 부족하며 효과적인 대책 또한 매우 미흡한 실정이다. 따라서 소방공무원의 직무수행에 따른

Table 2. Physical Responses on 20 min after Walking in the Workload 4METs

| Variable | Conditon | n | M±SD | df | t | p |
|---|----------|---|-------------|----|--------|------|
| Mean skin temperature (T _{20 min} , °C) | Shorts | 9 | 32.7±0.67 | 16 | -7.207 | .000 |
| | SCBA | 9 | 35.0±0.71 | | | |
| Heart Rate (beats/min) | Shorts | 9 | 105.0±15.67 | 16 | -4.185 | .001 |
| | SCBA | 9 | 134.4±14.14 | | | |
| Respiration Rate (beats/min) | Shorts | 9 | 29.0±5.13 | 16 | -1.307 | .210 |
| | SCBA | 9 | 32.4±5.95 | | | |
| RPE (Rating of Perceived Exertion) | Shorts | 9 | 2.6±0.73 | 16 | -4.718 | .000 |
| | SCBA | 9 | 4.3±0.87 | | | |
| Mets (metabolic equivalent) | Shorts | 9 | 4.1±1.54 | 16 | -4.231 | .001 |
| | SCBA | 9 | 7.0±1.38 | | | |

신체적 영향에 대한 보다 자세한 연구와 개선이 필요하며 이를 통하여 소방공무원의 사고예방과 대국민 안전서비스의 향상이 이루어 질 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자가 소방전공 학생들로 한정되어 결과를 확대해석하여 일반화 하는 것은 한계가 있다.

감사의 글

이 연구결과물은 2011학년도 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. J. Randall Lawwon, "Fire Fighter's Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting", NISTIR 5804, NIST (1996).
2. G. A. Selkirk and T. M. McLellan, "Physical Work Limits for Toronto Firefighters in Warm Environments", *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, No. 4, pp. 199-212 (2004).
3. H. W. Duncan, G. W. Gardner and R. J. Barnard, "Physiological Responses of Men Working in the Fighting Equipment in the Heat", *Ergonomics*, Vol. 22, No. 5, pp. 521-527 (1979).
4. Robert D. Treitman, William A. Burgess and Avram Gold, "Air Contaminants Encountered by Firefighters", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 41, pp. 796-802 (1980).
5. P. B. Raven, T. O. Davis, C. L. Shafer and A. C. Linebur, "Maximal Stress Test Performance While Wearing a Self-contained Breathing Apparatus", *J. Occup. Med.*, Vol. 19, No. 12, pp. 802-806 (1977).
6. M. K. White, M. Vercruyssen and T. K. Hodous, "Work Tolerance and Subjective Responses to Wearing Protective Clothing and Respirators During Physical Work", *Ergonomics*, Vol. 32, No. 9, pp. 1111-1123 (1989).
7. C. P. Yaglou, A. M. Baetjer, W. Machle, W. J. McConnell, L. A. Shady, C.-E. A. Winslow, et al., "Thermal Standards in Industry", *Am. J. Publ. Health*, Vol. 40, pp. 131-143 (1950).
8. ISO 7243, Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization (2003).
9. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments (Revised Criteria 1986)", [DHHS (NIOSH) Publication No. 86-113]. Cincinnati, OH: Author (1986).
10. ACGIH, TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents. Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH (1996).
11. ISO Standard 9886, "Ergonomics-Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements Second Edition", International Standard Organization, pp. 1-21 (2004).
12. ACSM, "ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription Seventh Edition", Lippincott Williams & Wilkins (2006).
13. J. Y. Park, S. T. Park, T. W. Jun, W. S. Eom, D. G. Lee, I. R. Park and H. J. Kang, "Prediction of Energy Expenditure during Exercise through Heart Rate In Young Adult", *Exercise Science*, Vol. 13, No. 3, pp. 311-322 (2004).
14. Rossi René, "Fire Fighting and its Influence on the Body", *Ergonomics*, Vol.46, Issue. 10, pp. 1017-1033 (2003).
15. D. L. Smith, S. J. Petruzzello, M. A. Chludzinski, J. J. Reed and J. A. Woods, "Selected Hormonal and Immunological Responses to Strenuous Live-fire Firefighting Drills", *Ergonomics*, Vol. 48, Issue. 1, pp. 55-65 (2005).
16. I. K. Jung and J. H. Yoon, "Human Performance & Exercise Physiology", Daekyungbooks (2006).