Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 32, No. 4 pp.297-301, August 2013 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2013.32.4.297

The Health Effects of Whole Body Vibration

Soo-Jin Lee, Soo-Yong Roh

Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine Hanyang University, Seoul, 133-791

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to review the hazards of whole body vibration(WBV) and prevent human injuries due to WBV. **Background:** Vibrations that shake the whole body in vehicles and vessels is WBV. Vibration at a specific frequency, and intensity in the human body can act as a hazard. But, it has not yet done enough research about effects of WBV. **Method:** We analyzed and reviewed occupational or ergonomic papers published past 30 years. **Results:** Exposure to whole body vibration can cause permanent physical injury or damage of the nervous system. In addition, it may cause problem in the cardiovascular system, digestive system, musculoskeletal system, endocrine system, reproductive system, and psychological system. The effect of vibration depends on its acceleration, duration, frequency, and direction. **Conclusion:** WBV-exposed human body experience a high risk of some illnesses such as lumbar spinal disorders. Some workers(bus drivers, truck drivers and heavy equipment operators) are the high risk population exposed to WBV. **Application:** The results of this study might help to judge and prevent occupational disease caused by WBV.

Keywords: Whole body vibration, Health effects

1. Introduction

진동은 인체에 작용하는 방식에 따라 국소 진동과 전신 진동으로 분류되는데 착암기 등을 사용할 때 진동의 작용을 받은 상태가 신체의 특정 부위에 집중적으로 작용하는 진동을 국소 진동이라고 하며 차량, 선박과 같이 몸통 전체가 동요되는 진동을 전신 진동이라고 부르고 있다. 전신 진동의 경우에는 진동 감각, 진동의 변위, 속도 및 가속도와의 관계에서 어느 요인이 더 중요한가에 대한 연구가 계속되고 있으며 국제표준화기구(International Standardization Organization, ISO)에서는 가속도로 표시할 것을 권장하고 있다. 전신 진동과 국소 진동은 대상으로 하는 진동수가 다른데 일반적으로 전신 진동은 1~80Hz, 국소 진동의 경우는 2~1,400Hz에 이르는 주파수 범위를 가지고 있다(Kang, 2011). 특정 주파수와 강도를 지닌 진동은 인체에 유해요인으로 작용할 수 있다. 전신 진동에 노출되는 경우 영구적인 육체적 상해 또는 신경계 손상을 유발할 수 있다는 점에서 주의를 기울여야 한다. 전신 진동은 특히 심혈관계에 영향을 미쳐 말초혈관 수축, 혈압상승, 맥박 증가와 같은 생리적 변화를 초래하고 이 밖에도 요통, 위장장애, 척추이상, 불쾌감 지속 등과 같은 증세를 유발할 수 있다(Helmut and Renate, 1986; Kang, 2011). 여성이 전신 진동에 노출되는 경우에는 월경이 불규칙해지거나 유산을 초래할 수 있다. 전신 진동은 또한, 중추신경계에 영향을 미쳐 피로, 불면증, 두통, 멀미 등을 유발할 수 있는데 대부분 노출되고 있는 동안 혹은 바로 직후에 나타난다. 그러나 전신 진동이 인체에 미치는 영향은 위에서 기술한 유해한 영향들만 있는 것이 아니며 저주파, 저진폭에서 전신 진동을 이용하여 재활치료에 활용하는 방안들이 연구되고 있다(Rauch, et al., 2010; Freddy, et al., 2012).

현재 우리나라는 진동이 인체에 미치는 영향에 대해 ISO

Corresponding Author: Soo-Jin Lee. Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine Hanyang University, Seoul 133-791.
Mobile: +82-10-4602-9292, E-mail: sjlee@hanyang.ac.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

Table 1. Health effects of whole body vibration

Category		Symptom & Disease
Sensory effect		Headache, dizziness, back pain, and abdominal pain caused by activation of vibration sensory
Systemic effect	Cardiovascular system	Hypertension, tachycardia, atherosclerosis
	Digestive system	Gastric neurosis, gastric ulcer, enteritis
	Musculoskeletal system	Back pain, degenerative disc disease
	Endocrine system	Reduced cortisol, increase in growth hormone and testosterone
	Reproductive system	Menstrual irregularities, abortion, complication of pregnancy
Psychological effect		Sleep disorder, motion sickness, displeasure

2631에 기초하여 법규 및 규제기준을 제정하고 있으나 실질적인 예방 · 관리활동은 미흡한 편이며, 관련된 학문적 연구도 소수에 불과하고 특히, 국소 진동에 비해 전신 진동에 관한 연구가 상대적으로 미진한 실정이다.

직업적으로 전신 진동에 노출되는 집단은 운전자이다. 특히 대형버스 운전자와 건설기계 운전자들이 장기간 전신 진동에 노출되는 대상이라고 볼 수 있다. 우리나라의 건설기계는 총 321,925대이며, 버스 운전자는 총, 73,945명이 종사하고 있다(Cho, et al., 2005; Cho, 2006). 장기간 전신 진동에 노출되는 집단에 대한 예방대책이 필요하다.

이 논문은 관련 문헌의 고찰을 통하여 전신 진동이 인체에 미치는 영향에 대하여 살펴보고 그에 따른 예방관리 및 치료에 대하여 논의하고자 한다.

2. Health Effects

진동에 노출된 인체는 즉각적인 물리적 반응 뿐만 아니라 다양한 생리적 · 심리적 반응을 보이며 이들은 서로 상호작용을 통해 신체반응을 유발하게 된다. 진동 노출에 따른 물리적 반응은 교감신경을 활성화함으로써 생리적 반응을 유발하고, 그러한 생리적 반응에 따라 상응하는 심리적인 반응이 나타나게 된다. Table 1은 전신 진동에 노출된 인체에서 나타날 수 있는 영향을 계통 별로 보여주고 있다.

2.1 Sensory effects

신체 부위에 따라 진동 감각을 느끼는 주파수가 다르며 주파수에 따라 진동 감각이 활성화되어 다양한 증상이 나타날 수 있다(Table 2). 6Hz 주파수의 진동 노출로 인해 등, 허리 등의 부위에서 통증을 느끼며, 13Hz 주파수에서 머리 부위에 진동 감각이 느껴져 어지러움, 두통 등의 증상이 나타난다. 4~14Hz 주파수에서 복통을 느끼고 9~20Hz 주파수에서 요의를 느낀다.

Table 2. Sensory effect by frequency

Frequency	Sensory effect
6Hz	Maximal pain at back, chest, and waist
13Hz	Vibration sense at head, cheek, and eyelid
4~14Hz	Abdominal pain
9~20Hz	Inclination for stool, sweat, fever

2.2 Cardiovascular effects

Matoba 등(1990)의 연구에 의하면 진동에 의하여 교감신경을 활성화시켜 전신의 말초혈관이 수축되고 혈압 및 맥박이 증가할 수 있다. 또한 반복적인 혈관수축으로 인한 동맥벽의 비후를 초래하여 만성적인 고혈압을 유발하게 된다(Yoo, et al., 2002). 진동에서도 혈관에 대하여 수직운동과 수평운동에 따라 심혈관계 작용이 차이가 있다. 수직진동운동은 혈관벽에 스트레스로 작용하며 50μm만큼의 저진폭이더라도 40~50Hz 주파수의 수직진동운동이 가해질 경우 관상동맥벽에 가중되는 스트레스가 35~49% 증가되며(Yue and Mester, 2007) 이는 혈관이 클수록 영향을 많이 받는다(Figure 1). 수평진동운동은 혈관 내의 혈장과 적혈구 사이의 상대적인 움직임에 영향을 미친다. 상대적인 움직임이 변화함에 따라 혈장 내 점도가 높아져 말초혈관 저항성을 높이게 된다. 이러한 영향은 혈관이 작을수록 영향을 많이 받는다.

2.3 Gastrointestinal effect

전신 진동에 노출된 후 위 신경증, 궤양 등의 위장관계 병

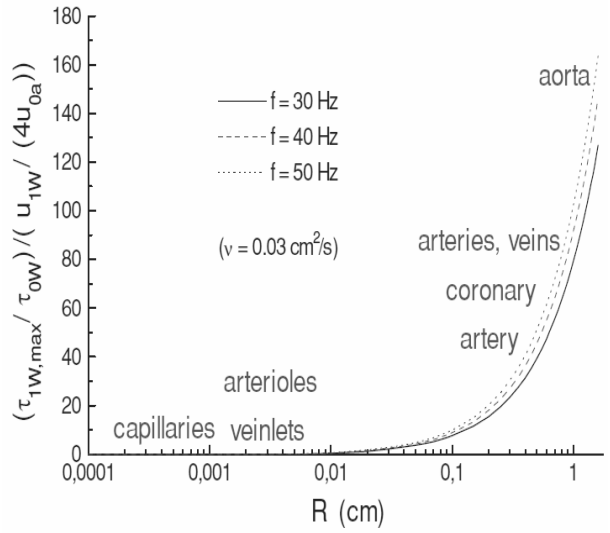

Figure 1. The ratio between the maximal shear stress perturbation and the undisturbed shear stress at the wall versus the radius of the vessel for different types of vessels and different frequencies.(ref.: Yue and Mester, 2007)

변이 발생할 수 있다(Ishitake, et al., 1999). 주로 장 점막에 기계적인 자극을 가하거나(Nakamura, et al., 1992) 정상적인 위장관 운동에 영향을 주어 병변이 발생하는 것으로 알려져 있다. 진동 자극에 의해 위에서 저장되는 시간이 짧아지고 위장의 내압이 증가하며, 교감신경이 활성화되어 위장관 운동이 억제된다. 또한 장기간 직업적으로 전신 진동에 노출된 집단에서 '위 신경증'이라는 질병이 보고된 바 있다(Ishitake, et al., 2002). 그 외에도 위 궤양, 십이지장 궤양, 복부 불편감, 위염, 장염, 게실염, 충수돌기염 등을 일으킬 수 있다. 이러한 소화기계 증상과 질환들은 대개 낮은 강도의 전신 진동에 노출된 사람들에게서 주로 나타난다.

2.4 Musculoskeletal effects

장기간 전신 진동에 노출되면 척추에 퇴행성 변화를 일으켜 요통 등의 증상을 유발할 수 있다(Helmut and Renate, 1986). 근골격계 증상을 유발하는 기전으로 대개 근육신경에 직접적으로 물리적인 손상을 가하거나 또는 진동으로 인하여 신경으로 가는 혈류가 감소하여 신경병증이 나타날 수 있다는 등의 가설이 있으나 명확한 기전은 밝혀지지 않았다. 직업적인 전신 진동 노출에 의해 요통장애, 좌골신경통, 허리 추간판 이상을 포함한 척추조직에 퇴행성 변화를 일으킨다(Carel and Brinio, 1987). Kuma 등(1999)은 트랙터를 운행하는 농부와 운행하지 않는 농부들을 대상으로 요통에 대하여 조사하였다. 트랙터 운전수들은 40%에서, 비운전수들은 18%에서 작업 관련성 요통을 호소하였으나(p=0.015) MRI 검사상 퇴행성 변화에서는 차이가 없었다(p>0.05). Boshuizen 등(1989)의 연구에서 전신 진동에 노출되지 않은 농부보다 트랙터를 운행하는 등 전신 진동에 노출된 농부에서 허리질환으로 장해보상을 받거나 병가를 낸 경우가 많았다.

2.5 Neurologic effects

강한 진폭의 진동은 그 자체로 신경계에 손상을 일으켜 신경학적 장애를 일으킬 수 있다(Helmut and Renate, 1986). 조직학적으로 뇌혈관 혈행장애, 뇌피질 기능 저하, 간뇌 기능 저하, 중추신경계 미세 병변 등의 소견을 일으켜 신경학적 장애를 일으킨다.

2.6 Hormonal effects

전신 진동에 노출된 후(limbic system)의 해마(hippocampus)나 편도체(amygdala)에서 호르몬의 변화를 일으켜 그에 따른 신체의 신진대사작용이 변화하여 증상이 생길 수 있다. 전신 진동이 가해진 후에 코티졸 수치가 감소하며 테스토스테론, 성장호르몬 수치는 증가한다(Bosco, et al., 2000; Makoto and Akira, 1983).

2.7 Reproductive effects

기전은 정확하게 밝혀진 바는 없으나 과거 연구에서 장기간 전신 진동에 노출된 여성에서 생리불순, 유산 가능성 증가, 임신 합병증 증가 등의 소견이 보였다(Helmut and Renate, 1986).

2.8 Psychologic effects

진동에 의하여 수면장애, 어지러움, 멀미, 불쾌감 등의 증상이 생길 수 있다(Kjelberg, 1990). 수면장애는 운송수단에서 발생되는 50Hz 미만의 주파수의 전신 진동에 노출된 집단에서 나타날 수 있고, 멀미의 경우 1Hz 내외의 낮은 주파수 영역에서 발생하는 신체반응으로 물리적, 심리적 측면에서 불쾌감을 심화시킨다(Lee, et al., 1999). 1Hz 이상의 진동은 인체에 즉각적인 불쾌감을 유발시키는 특징을 가지며 5Hz 내외의 수직진동, 1~3Hz의 횡진동이 인체에 불쾌감을 유발한다고 알려져 있다.

3. Prevention and Control

진동에 노출될 수 있는 작업환경을 측정하고 그 위험성을 평가하여 전신 진동에 대한 예방 · 관리를 시행하도록 되어 있다. 유럽에서는 전신 진동 노출기준을 설정하여 관리하는데 8시간의 노출시간을 기준으로, 모든 방향의 노출한계값 A(8)으로 1.15m/s^{2}를 제시하고 있다(Gerhard, et al., 2010). 전신 진동에 대한 정기적인 검진 등을 통하여 예방 · 관리가 적절히 이루어지고 있는지 평가하도록 하여야 하며 작업자의 작업 자세나 휴식 정도가 고려되어야 한다. 운전자의 진동 완화를 위한 기술적 조치로는 탄성 손잡이, 유압식 차축 서스펜션, 쿠션 방식의 운전실, 조절식 댐핑 기능이 있는 운전석 시트의 설치 등이 있다.

장기간 전신 진동에 노출된 노동자에서 그로 인한 부작용이 의심될 경우 작업변경 등을 통한 조치를 취하게 된다. 그러나 실제로 국소 진동에 대한 직업병의 진단은 기전도 명확하게 밝혀져 있으며 증상이 특이적이기 때문에 어렵지 않게 직업병으로 인정받고 있는 반면에 전신 진동에 의한 직업병은 복합적인 요인에 의하여 발생할 수 있고 증상이 비특이적인 경우가 많기 때문에 직업병으로 진단이 어렵고 보상도 받기 힘들다. 전신 진동 노출에 의한 인체 손상과 관련된 직업병 통계는 현재까지 명확하게 보고된 바가 없다. 직업병으로 인정된 사례로는 2001년에 '버스 운전자에게 발생한 요추 4-5번 추간판탈출증' 사례가 있다(Kim, 2002). 택시, 시내버스를 포함하여 26년간 전신 진동에 노출된 후 그로 인해 요추부의 퇴행성 변화가 촉진되고 추간판 내 압력이나 부하가 증가되어 발생한 것으로 인정되었다.

4. Application to Rehabilitation Theraphy

1990년대 후반부터 근기능 트레이닝 분야에 도입되어 프로 스포츠팀, 휘트니스 센터, 재활클리닉 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 전신 진동운동은 중력부하를 인위적으로 조절함으로써 근육을 빠르고 강하게 수축하게 하여 새로운 자극을 가하여 근력, 근지구력, 순발력을 향상시킨다(Rhim, 2005). 노인이나 파킨슨병 환자군에서 전신 진동운동치료로 신체 균형을 유지시켜 보행 기능을 향상시키고 낙상을 방지하는데 적용되고 있다(Rauch, et al., 2010; Freddy, et al., 2012). 또한 폐경기 여성에서 골밀도 감소를 방지하여 골다공증 예방 및 치료에도 쓰인다. 또한 내과적인 질환의 재활치료로 전신 진동운동의 효과에 대한 연구도 보고되고 있다. Yoosefinejad 등(2012)의 연구에서 전신 진동운동이 2형 당뇨병 환자의 말초신경병증의 치료에 효과가 있다고 하며, Otsuki 등(2008), Figueroa 등(2012)의 연구에서는 재활을 위한 전신 진동운동 후에 오히려 동맥의 강직성이나 혈압이 낮아진다고 보고하였다.

5. Conclusion

본 연구는 과거 30여년 간의 전신 진동 노출이 인체에 미치는 영향에 대한 다양한 연구결과를 고찰하여 체계 별로 정리하였다. 대부분의 연구에서 노출되는 전신 진동의 방향, 주파수와 같은 변수가 인체에 미치는 영향을 객관적인 방법으로 심도있게 연구하지 못한 제한점이 있어 앞으로 충분히 더 연구가 이루어져야 할 분야로 보인다.

전신 진동으로 인한 인체의 반응을 살펴보면 생리적인 반응과 심리적인 반응으로 나눌 수 있다. 진동 감각을 활성화시켜 자율신경계에 영향을 끼쳐 두통, 고혈압, 소화장애, 호르몬 장애 등 다양한 증상을 일으키며 장기간 전신 진동으로 인한 심리적인 불쾌감, 수면장애 등의 증상을 유발한다. 그러나 전신 진동에 대한 인체의 반응을 이용하여 근골격계 또는 신경계 능력을 향상시키는 재활치료 분야에서의 활용도 가능하다. 이런 측면에서 특정환경에서 진동 주파수, 진동방향, 혹은 노출수준에 따라 전신 진동이 인체에 미치는 영향에 대한 다양한 연구 들이 수행될 필요성이 있으며, 이를 통해 앞으로 전신 진동으로 인한 직업병의 예방이나 치료분야에 보다 확대 적용될 것으로 기대된다.

References

Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De Lorenzo, A. and Viru, A., Hormonal responses to whole-body vibration in men, *European Journal of Applied Physiology*, 81, 449-454, 2000.

Boshuizen, H.C., Hulshof, C.T.J. and Bongers, P.M., Long-term sick leave and disability pensioning due to back disorders of tractor drivers exposed to whole-body vibration., *International Archives of Occupational and Environmental Health*, (1999) 62, 117-122, 1999.

Brüel & Kjaer, *Instrumentation for Human Vibration Measurements*, English USA BG 0205-11, Marlborough, MA: Brüel & Kjaer Instruments, Inc. 1992.

Carel, H. and Brinio, V., Whole-body vibration and low-back pain, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 59, 205-220, 1987.

Cho, H.K., Kim, B.N. and Kwon, J.W., *A study on whole-body vibration of*

drivers operating dump trucks in a tide embankment and a tunnel, Korea Occupational Safety & Health Agency, Occupational Safety & Health Research Institute, 2005.

Cho, H.K., *A study on the exposure level of whole-body vibration of urban bus drivers*, Korea Occupational Safety & Health Agency, Occupational Safety & Health Research Institute, 2006.

Figueroa, A., Gil, R., Wong, A., Hooshmand, S., Park, S.Y., Vicil, F. and Sanchez-Gonzalez, M., Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women, *Hypertension Research*, 35, 667-672, 2012.

Freddy M.H. Lam, Ricky W.K. Lau, Raymond, C., Chung, K., Marco, Y. and Pang, C., The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: A systematic review and meta-analysis, *Maturitas*, 72, 206-213, 2012.

Gerhard, N., Laurencia, J., Janos, M., Zdenek, J. and Thomas, M., *Hazards arising from whole-body and hand-arm vibrations*. International Social Security Association, 2010.

Helmut, S. and Renate, H., Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 58, 1-26, 1986.

Ishitake, T., Miyazaki, Y., Ando, H. and Matoba, T., Suppressive mechanism of gastric motility by whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72, 469-474, 1999.

Ishitake, T., Miyazaki, Y., Noguchi, R., Ando, H. and Matoba, T., Evaluation of frequency weighting (iso 2631-1) for acute effects of whole-body vibration on gastric motility, *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 31-36, 2002.

Kang, S.K., *Practice guide of Employment Health Examination (2010) Part 3*, Korea Occupational Safety & Health Agency, Occupational Safety & Health Research Institute, 320-325, 2009.

Kim, K.J., *Casebook of occupational disease Diagnosis in Korea*, Korea Occupational Safety & Health Agency, Occupational Safety & Health Research Institute, p96, 2002.

Kjellberg, A., Psychological aspects of occupational vibration, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 16, (sup. 1), 39-43, 1990.

Kumar, A., Varghese, M., Mohan, D., Mahajan, P., Gulati, P. and Kale S., Effect of Whole-Body Vibration on the Low Back: A Study of Tractor-Driving Farmers in North India., *Spine* vol.24, Issue 23, p2506, 1999.

Lee, K.S., *Noise and Vibration engineering*, 112-120, 1999.

Makoto, A. and Akira, O., Effect of Whole Body Vibration on the Rat Brain Content of Serotonin and Plasma Corticosterone, *European Journal of Applied Physiology*, 52, 15-19, 1983.

Matoba, T. and Ishitake, T., Cardiovascular Reflexes during Vibration Stress, *The Kurume Medical Journal* Vol. 37, Supplement, p. S61 -S71, 1990.

Nakamura, H., Katoh, A., Nakamura, H. and Okada, A., Experimental studies on the pathogenesis of the gastric mucosal lesions induced by whole-body vibration. *Environmental Research*, Vol. 58, Issues 1-2, 220-229, 1992.

Otsuki, T., Takanami, Y., Kawai, Y., Ishikawa, H. and Yoshikawa, T., Arterial stiffness acutely decreases after whole-body vibration in humans, *Acta Physiological Scandinavica*, 2008, 194, 189-194, 2008.

Rauch, F., et al., Reporting whole-body vibration intervention studies: Recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions, *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 10(3), 193-198, 2010.

Rhim, Y.T., The study on Whole Body Vibration as a new Exercise-Training Prescription Method, *Journal of coaching development*, 7(4), 105-116, 2005.

Yoo, C.I., et al., Evaluation of Finger Skin Temperature by Cold Provocation Test for Diagnosis of Hand-Arm Vibration Syndrome, *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 14(2), 124-133, 2002.

Yoosefinejad, A.K., Shadmehr, A., Olyaei, G., Talebian, S., Bagheri, H. and Mohajeri-Tehrani, M.R., Effects of Whole-Body Vibration on a Diabetic Type 2 patient with Peripheral Neuropathy, *Health Science Journal* vol.6, Issue 3, 576-583, 2012.

Yue, Z. and Mester, J., On the Cardiovascular Effects of Whole-Body Vibration Part I. Longitudinal Effects: Hydrodynamic Analysis, *Studies in Applied Mathematics*, 119, 95-109, 2007.

Yue, Z., Klein¨oder, H., M. de Mar´ees, Speicher, U., Wahl, P. and Mester, J., On the Cardiovascular Effects of Whole-Body Vibration Part II. Lateral Effects: Statistical Analysis, *Studies in Applied Mathematics*, 119, 111-125, 2007.

Author listings

Soo-Jin Lee: sjlee@hanyang.ac.kr

Highest degree: MD, PhD, Medicine, Catholic University
Position title: Professor, Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University
Areas of interest: Occupational disease, Agricultural diseases

Soo-Yong Roh: rohsy13@naver.com

Highest degree: MD, College of Medicine Hanyang University
Position title: Medical resident, Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University
Areas of interest: Occupational disease

Date Received : 2013-07-01

Date Revised : 2013-07-31

Date Accepted : 2013-07-31