Journal of Radiation Industry 12(2) : 139~143(2018)

서울시 종합의료기관의 실내공기 중 대기로 방출되는 라돈(^{222}Rn) 농도 측정 및 개선 방안

류영환[1] · 이수형[2,*] · 김미영[3] · 곽종길[4,5] · 동경래[6]

[1]서울의료원 영상의학과, [2]서울의료원 가정의학과, [3]서울의료원 간호부,
[4]동신대학교 보건의료학과, [5]KS 병원 종합검진센터, [6]광주보건대학교 방사선과

Medical Institutions of the Seoul Metropolitan Area's Internal Air Radon Atmostphere Emission: Suggestions for Density Measurement and Improvement

Young-Hwan Ryu[1], Soo-Hyoung Lee[2,*], Mi-Young Kim[3], Jong-Gil Kwak[4,5] and Kyung-Rae Dong[6]

[1]*Department of Radiology, Seoul Medical Center, 156, Sinnae-ro, Jungnang-gu, Seoul 02053, Republic of Korea*
[2]*Department of Family Medicine, Seoul Medical Center, 156, Sinnae-ro, Jungnang-gu, Seoul 02053, Republic of Korea*
[3]*Department of Nursing, Seoul Medical Center, 156, Sinnae-ro, Jungnang-gu, Seoul 02053, Republic of Korea*
[4]*Department of Public Health and Medicine, Dongshin University Graduate School, 185, Geonjae-ro, Naju-si, Jeollanam-do 58245, Republic of Korea*
[5]*Comprehensive Medical Examination Center, KS Hospital, 220, Wangbeodeul-ro, Gwangsan-gu, Gwangju 62248, Republic of Korea*
[6]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 73, Bungmun-daero 419 beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62271, Republic of Korea*

Abstract - We have started this study in an attempt to measure facility spaces' Radon density and minimize Radon damages to human health accounting for measurement values. The subject of this study is a general hospital situated within the Seoul metropolitan area, the Seoul Medical Center. The Radon density measurement points were dispersed as following for comparison among spatial categorization: 17 spots within office areas (places where only hospital employees occupy), 25 spots within patients' waiting area (occupied by employees, patients, patient caretakers, general passerby), 22 spots within treatment areas (occupied by employees or patients). For comparison among building levels, 10 places were picked within the basement area (5 on the first basement level, 1 on the second basement level, 2 on the third basement level, 2 on the fourth basement level), 54 places above ground (25 on the first floor, 27 on the second, 2 on the third). For comparison based on the factor of window existence, 21 spots without windows and 43 spots with windows were compared. Measurement was carried out for the duration of four months by

* Corresponding author: Soo-Hyoung Lee, Tel. +82-2-2276-8621,
Fax. +82-2-2276-7941, E-mail. jasinita@seoulmc.or.kr

Alpha track detectors with the removal of LR-115 tapes. These detectors are fixed to the wall with a one meter length string hanging from a half-circle shaped link fixed upright at a right angle on the ceiling at the center of the measurement area. As a manual detector, for Alpha track detector measurement to be properly conducted, it should be used under minimized circumstantial changes from the usual status quo for the duration of measurement. Study collaborators have kept the environmental factors constant while measuring Radon density, with indoors detectors being comprised of two types, passive and active detectors. These two types could be differentiated apart by their electric power source. Passive detectors are easier to maneuver and are more economical in their costs than their active counterparts. Few demerits persist, however, in that passive detectors have more difficulty achieving prompt long term measurements and are more prone to lowered reliability in their measurements due to external environmental factors. Despite these shortcomings, for its relative low costs and efficiency, collaborators have decided on using Alpha track detector LR-115 device for the purpose of this study. The mean Radon concentration level of the 21 places with windows was 58.00 $Bq \cdot m^{-3}$, with the 43 places without windows mean level being 62.93 $Bq \cdot m^{-3}$, The mean difference of approximately 5 $Bq \cdot m^{-3}$ with windowed places being lower in Radon concentration levels were nonsignificant t ($p > 0.05$). The reason why lower Radon density was measured in windowed areas could be postulated to be due to airing and emission of Radon from measured indoors to outdoors. In the comparisons between workspace categorizations, the mean Radon density level of the 17 places within office areas (occupied only by hospital employees) was 58.18 $Bq \cdot m^{-3}$, a mean of 64.50 $Bq \cdot m^{-3}$ in 22 patient waiting areas (occupied by employees, patients, caretakers, and passersby), and a mean of 61.31 $Bq \cdot m^{-3}$ was achieved in 22 treatment areas. Radon density level was ranked from highest to lowest from office areas, treatment areas, and patient waiting areas. There were, however, no statistical significance achieved among the three spatial categorizations ($p > 0.05$). We could postulate lower Radon level was achievable through frequent airing from multiple windows. Comparisons between floor levels led to the result of mean of 55.90 $Bq \cdot m^{-3}$ in the 10 areas in the basement levels, and mean of 62.31 $Bq \cdot m^{-3}$ in the 54 areas in the above ground level floors. While not achieving statistical significance ($p > 0.05$), Radon levels were measured to be 7 $Bq \cdot m^{-3}$ lower in the basement areas compared to the above ground levels. Based on these results, we believe reducing lung cancer inducing Radon density by appropriately measuring and controlling radon concentration levels would be conducive to lowering radiation exposure to on facility employees, patients, and caretakers.

Key words : Radon gas, Alpha track detector, Half life, Environmental radiation

서 론

라돈은 주거 공간에서 발생하는 방사선 피폭의 주요 피폭원이며 호흡을 통한 내부피폭으로 흡연 다음으로 폐암을 일으키는 주요 원인 물질이다. 세계보건기구(WHO)와 미국 환경청(EPA)은 라돈을 발암물질로 분류하고, 실내 공기 중 라돈 농도를 관리할 것을 권고하고 있다(WHO 2009). 라돈은 천연방사성핵종으로 ^{238}U이나 ^{232}Th의 자손핵종의 하나로서 ^{226}Ra 및 ^{224}Ra이 붕괴될 때 생성되는 불활성기체로 땅속에 쉽게 이동하여 지표 공기 중으로 방출되는데 이러한 라돈은 토양을 통해 주택의 실내로 유입되므로 실내 라돈 관리를 위해서는 토양 중 라돈 가스 함량 및 거동특성에 대한 조사가 필요하다. 미국과 유럽 등 선진국에서는 라돈 맵을 작성함으로써 높은 토양가스 라돈 농도를 보이는 지역에 대한 라돈방어대책을 수립하고 있다. 국내에서는 전국 실내 라돈 농도를 조사하여 전국 실내 라돈 지도를 작성하였지만 이는 실내 공기질 관리 측면에서만의 라돈 관리로서 실내 라돈 농도 측정 결과의 활용만으로 라돈 유의지역 설정 등 다양한 라돈 저감 대책들의 실효성을 저하시킨다. 선행연구에서 토양 가스 중 라돈의 농도는 동일한 기반암에서 유래된 잔류토양에서도 토양가스 내 라돈 농도에서 변화가 있음이 밝혀졌고 이러한 변화에 대한 용인과 특성에 대한 상세한 분석 결과가 지역의 라돈모니터링과 위해성 평가에 반영되어져야 한다(EPA 2003; EPA 2010). 특히 방사선에 대한 지역주민의 관심이 높은 원자력발전소 주변 지역에 대한 조사는 경주 지역을 제외하고는 수행된 적이 없어 원전 주변 지역에 대한 정밀 조사가 필요하다. 한편 토양 내 라돈 조사에 있어 환경적 요인 및 측정 조건에 따라 불확실성이 존재하여 측정 결과의 신뢰성 확보 차원에서 해결점 방안 제시가 시급하다.

일부 국가의 경우 토양에서 방출되는 라돈 농도를 파악하여 '토양라돈지도'를 작성하여 국가적 라돈관리의 일환으

로 사용하나 국내에는 그런 움직임은 아직 없고, 도로망을 이용한 공간감마선량률을 측정하고 있다. 독일 연방 방사선 보호국(Federal Office for Radiation protection)은 실내 라돈 농도의 주 근원을 토양가스에 존재하는 라돈으로 규정하고, 라돈을 자연방사선 관리대상으로 규제하여 표준화된 현장측정법을 이용한 독일 라돈 조사를 실시하고 있다(ICRP 1993; EPA 1996). 체코의 경우 라돈방출량의 측정 편차가 심하기 때문에 라돈의 모핵종인 라듐의 함유량을 측정하여 라돈 지도를 작성하고 있다(환경부 2010; Lee *et al*. 2015). 라돈(^{222}Rn)은 무색, 무취, 무미의 기체로서 방사선 붕괴과정 또는 토양, 암석 등의 자연계에서 존재하는 천연 방사선 동위원소 이다. 우라늄 및 토륨의 연속적으로 붕괴로 인하여 라듐(^{226}Ra)이 되고, 이 ^{226}Ra의 붕괴로 인하여 ^{222}Rn이 생성된다. 자연방사선의 일종인 라돈은 지각의 종류, 건축물, 암석, 토양 등에서 대기 중으로 확산형 방출을 하며 실내 공기를 통해 퍼져 나간다(UNSCEAR 1988). 라돈의 붕괴과정에서 형성되는 딸핵종 폴로늄(^{84}Po)이 호흡기를 통하여 폐로 들어와 침착이 된 후 붕괴하면서 방사선인 α-ray을 발생시킨다. 이런 α-ray는 가장 강하게 이온화 하며, 노출되는 양에 따라 여러가지 피폭 증세를 보이기도 한다. 알파 입자에 의한 염색체의 피해는 동일한 양의 다른 종류의 방사선에 의한 피해에 비해 크다. 알파 입자를 방출하는 핵종중 하나인 폴로늄(^{210}Po)은 흡연에 의한 폐암 및 방광암의 원인이다(EPA 2003).

이런 라돈의 피해를 줄이기 위해서는 일상생활에서의 환기가 중요하며 국민 개개인이 라돈의 위험성을 인식하고 자연방사선과 인공방사선의 분류 및 처치 방안과 같은 인식을 가지고 있어야 한다. 현재 국내에서는 실내 라돈 권고 기준을 148 Bq·m^{-3}로 잡고 있지만 그 외 영국 스웨덴 체코와 같은 나라들은 200~400 Bq·m^{-3} 사이의 값을 권고 기준으로 삼고 있다. 다만 국가별 권고 값에 따라 계절에 따른 차이를 보이고 있다(EPA 2012). 인체에 큰 해가 되는 라돈에 대하여 시설의 공간 내 라돈 농도를 측정하고 값을 토대로 라돈 피해를 저감화시킬 수 있도록 본 연구를 시행하게 되었다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상 및 방법

본 연구대상은 서울특별시에 위치한 일개 종합병원 서울의료원이며, 라돈 농도를 측정하는 위치는 공간에 따른 비교를 위해 사무공간(직원만 상주하는 공간) 17곳, 환자대기공간(직원, 환자, 보호자, 수시출입자) 25곳, 진료공간(직원 및 환자) 22곳, 사용 층별에 따른 비교를 위해 지하 10곳(지하 1층 5곳, 지하 2층 1곳, 지하 3층 2곳, 지하 4층 2곳), 지상 54곳(지상 1층 25곳, 지상 2층 27곳, 지상 3층 2곳), 창문 유 · 무에 따른 비교를 위해 창문 무(21곳), 창문 유(43곳)으로 알파 비적 검출기(Alpha track detector) LR-115을 테이프를 제거 한 후 반원형 고리를 직각으로 세운 공간 중앙 천장에서 1 m 정도 떨어지게 하여 실을 이용하여 고정하여 설치한 후 4개월 동안 측정하였다. 수동형검출기인 알파트랙의 측정 기간 동안은 주위 환경의 변화를 최소화시켜 측정하는 데에 있어 주위 환경에 의한 영향을 최소화시키도록 유도해야 한다. 이런 환경과 장소의 변화를 그대로 유지시킨 뒤 수거하여 라돈 농도를 측정하였다.

Fig. 1. Alpha-track Radon detector.

실내 공간에서 사용되는 라돈검출기에는 전원 및 전력사용 여부에 따라 수동형검출기(passive detector)와 능동형검출기(active detector)로 구분된다. 수동형검출기는 비교적 사용이 간편하고, 검출기의 가격이 매우 경제적이지만, 장기간 측정으로 신속한 측정값을 얻기 어렵다. 또한 외부환경에 의해 결과의 신뢰성이 저하되는 단점이 있다(Fig. 1). 이러한 단점이 있지만, 본 논문에서는 경제적인 측면과 효율적인 측정을 위하여 알파 비적 검출기(Alpha track detector) LR-115소자를 이용한 수동형검출기 중 하나인 알파트랙을 이용하여 실험을 진행하였다.

2. 통계분석

자료 분석은 SPSS 통계프로그램 Ver. 18.0을 이용하였으며 설치지점의 창문 유 · 무와 사용 층별 즉 지하와 지상으로 분류하였고 라돈 농도 분석은 기술 통계량과 비모수 통계분석인 맨 위트니 유 검정(Mann-Whitney U Test)으로 실시하였으며, 공간에 따른 비교 분석은 사무공간(직원만 상주하는 공간), 환자대기공간(직원, 환자, 보호자, 수시출입자), 진료공간(직원 및 환자)으로 분류하여 기술통계량과 비모수 통계분석인 크루스칼-월리스의 순위 일원분산분석(Kruskal-Wallis Test)로 실시하였다. 본 연구에서는 p값이 0.05 미만일 때 통계학적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

1. 설치지점의 창문 유무에 따른 비교

라돈 농도 측정 장소에서 창문이 있는 21곳의 라돈 농도는 58.00 $Bq \cdot m^{-3}$이며, 창문이 없는 43곳의 라돈 농도는 62.93 $Bq \cdot m^{-3}$으로 창문이 없는 곳에 비해 있는 곳이 5 $Bq \cdot m^{-3}$의 라돈 농도가 낮게 측정 되었으며 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다($p > 0.05$) (Table 1). 라돈 농도가 창문이 있는 곳에서 낮게 측정 된 것은 환기로 인한 라돈 농도가 측정공간에서 바깥으로 빠져 나간 것으로 알 수 있다.

2. 공간에 따른 비교

공간에 따른 비교 분석은 사무공간(직원만 상주하는 공간) 17곳에서 58.18 $Bq \cdot m^{-3}$, 환자대기공간(직원, 환자, 보호자, 수시출입자) 22곳에서 64.50 $Bq \cdot m^{-3}$, 진료공간(직원 및 환자) 22곳에서 61.31 $Bq \cdot m^{-3}$로 측정되었다. 라돈 농도가 사무공간, 진료공간, 환자 대기공간 순으로 라돈 농도가 높게 측정되었으며 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다($p > 0.05$) (Table 2). 환자 대기공간에서의 라돈 농도가 낮게 측정된 것은 창문이 다량으로 존재하는 것으로 환기로 인한 것으로 알 수 있다.

3. 사용 층별에 따른 비교

사용 층별에 따른 비교 분석은 지하 10곳(지하 1층 5곳, 지하 2층 1곳, 지하 3층 2곳, 지하 4층 2곳) 55.90 $Bq \cdot m^{-3}$, 지상 54곳(지상 1층 25곳, 지상 2층 27곳, 지상 3층 2곳) 62.31 $Bq \cdot m^{-3}$ 측정되었다. 라돈 농도가 지하에서 지상보다 7의 라돈 농도가 낮게 측정되었으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다($p > 0.05$) (Table 3).

Table 1. Comparison according to the presence of windows at the installation point

Classification	N	Mean ± SD	Z	p
Window	21	58.00 ± 15.93	1.167	0.243
No windows	43	62.93 ± 15.84		

Table 2. Comparison by installation space

Classification	N	Mean ± SD	Mean Rank	p
Office space	17	58.18 ± 13.52	30.09	
Patient waiting space	25	64.50 ± 17.04	35.45	0.635
Medical space	22	61.31 ± 15.92	31.54	

Table 3. Comparison by floor

Classification	N	Mean ± SD	Z	p
Underground	10	55.90 ± 15.44	0.342	0.732
Ground	54	62.31 ± 15.94		

고 찰

일반대중은 연간 약 2.4 mSv의 피폭선량을 받는다. 이 중 자신의 신체에서나 대지, 우주선에서 받는 피폭선량이 1.1 mSv 정도이며 그 외에 라돈과 그 자핵종에 의한 피폭선량이 1.3 mSv 정도다. 이러한 라돈피폭선량의 79%가 실내에서 라돈흡입에 의한 것으로 보고된다. 라돈과 딸핵종은 호흡시 호흡기 속으로 들어가 대부분 날숨에 의해 다시 나오지만 일부는 호흡기계에 잔존 흡착되어 붕괴를 한다. 이 과정에서 조직에 지속적인 손상으로 인한 폐암 발생을 일으킬 수 있는 것이다. 국제 암연구 기관(IARC)에서는 이러한 위험 때문에 1988년에 라돈을 인체 발암물질로 분류 하였으며, 전 세계 폐암의 3~14%가 라돈에 기인한다고 알려져 있다. 미국 EPA 보고서에 따르면 미국 내 라돈에 의한 사망은 약 21,000명 수준으로 음주운전 사망자보다 더 많으며 대기오염에 의한 사망자의 10배 수준이다(NCRP 1976; Ju *et al*. 2012). 더군다나 오늘날 사회에서는 주간에는 직장이라는 실내공간과 야간에는 가정이라는 실내공간에서 우리 생활 대부분이 이루어짐을 감안할 때 라돈의 위험은 더욱 증가될 것으로 보인다. EPA에 'A Citizen's Guide to Radon'에 따르면 미국 규제치 4 pCi (148 $Bq \cdot m^{-3}$)의 농도에서 지속적 생활시 흡연자의 경우 100명 중 6.2명의 폐암 위험성을 경고하고 있으며 이는 자동차사고의 5배이며 평균 실외 라돈 농도 노출시 0.3명의 20배 정도이다(환경부 2010; EPA 1988; EPA 2012).

라돈 붕괴 시 발생되는 알파선의 신체 내 비정은 40~70 μm 정도만 통과할 수 있으며 라돈 붕괴산물은 화학적 활성이 매우 강하여 폐 내부나 폐 조직에 머무는 동안 폐의 상피세포나 미세먼지들에 쉽게 부착된 후 붕괴를 이어가게 된다. 미국 EPA에서는 실내 라돈 농도 권고치를 0.148 $Bq \cdot L^{-1}$ (4 $pCi \cdot L^{-1}$)를 권고하고 있으며 이 농도치는 일생 동안 피폭 시 폐암으로 사망할 위험율이 약 1~2%로 추정할 수 있는 수치이다. 라돈에 의한 인체 영향은 장기피폭에 의한 폐암 발생으로 나타나며, 이는 3가지 요인에 주로 좌우된다. 즉, 라돈 농도가 높고 노출기간이 길며, 흡연습관이 있는 경우에는 폐암발생률이 증가한다. 2010년 폐암사망률은 10만 명당 45.7명으로 전체인구를 4,875만 명으로 보면 한 해 22,279명이 폐암으로 사망하는 것으로 계산되며 EPA자료인 10~15%로 계산 시 약 2,230~3,340명이 라돈에 의한 초과 폐암으로 사망하게 되는 것으로 볼 수 있다(UNSCEAR 1988; EPA 1996).

라돈을 검출하는 검출기는 수동형 라돈 측정기와 알파비적 검출기가 있다. 수동형 라돈 측정기는 측정 당시 그 측정량을 예측할 수 없고 측정 완료 후에 연구소 등을 통하여 검사결과를 알 수 있다. 알파 비적 검출기는 라돈측정기 안에 플라스틱 필름이나 셀룰로스 필름 등과 같은 검출소자가 들어 있다. 측정기의 필름을 벗겨내면 공기 중의 라돈이 측정기 속 필름으로 들어가 알파선 방출로 필름에 데미지를 남기게 되는데 그렇게 데미지를 입는 필름을 NaOH나 KOH와 같은 용액에 부식시켜 현미경으로 손상된 부분을 측정값으로 도출한다. 본 연구에서는 실내 공기에 대한 라돈을 측정하기 위해 알파 비적 검출기를 사용하였는데. 플라스틱 필름(Polyallyl diglycol carbonate; CR-39), 셀룰로스 필름(Cellulosenitrate; LR-115) 및 polycarbonate (PC: Makrofol, polycarbonate)와 같은 고체 표면에 라돈 및 라돈 자손의 알파입자가 입사될 때 재료의 조직에 미세한 방사선 손상으로 생성되는 비적(飛跡)을 검출하는 원리이다. 장점으로는 경제적이므로 대규모 조사에 가장 많이 사용되며, 외부전원이 필요 없고 사용이 간편하고, 우편송달이 용이하며, 측정기간 동안 편향이 적어 90일에서 1년에 이르는 장기간 측정이 가능하고, 검출기가 베타와 감마선의 영향을 받지 않는다. 따라서 본 연구에서는 폐암 유발 인자인 라돈을 측정하기 위해 알파 비적 검출기를 사용하여 시설 공간에서의 라돈 농도를 측정하였다.

결 론

서울 지역의 일개 종합병원 서울의료원의 실내 공기 라돈 농도를 측정한 결과 라돈 농도 측정 장소에서 창문이 있는 21곳의 라돈 농도는 58 $Bq \cdot m^{-3}$이며, 창문이 없는 43곳의 라돈 농도는 62.93 $Bq \cdot m^{-3}$으로 창문이 없는 곳에 비해 있는 곳이 5 $Bq \cdot m^{-3}$의 라돈 농도가 낮게 측정되었으며 공간에 따른 비교 분석은 사무공간(직원만 상주하는 공간) 17곳에서 58 $Bq \cdot m^{-3}$, 환자대기공간(직원, 환자, 보호자, 수시출입자) 22곳에서 64 $Bq \cdot m^{-3}$, 진료공간(직원 및 환자) 22곳에서 22 $Bq \cdot m^{-3}$로 측정되었다. 라돈 농도가 사무공간, 진료공간, 환자 대기공간 순으로 라돈 농도가 높게 측정되었으며 사용층별에 따른 비교 분석은 지하 10곳(지하 1층 5곳, 지하 2층 1곳, 지하 3층 2곳, 지하 4층 2곳) 55.90 $Bq \cdot m^{-3}$, 지상 54곳(지상 1층 25곳, 지상 2층 27곳, 지상 3층, 2곳) 62.31 $Bq \cdot m^{-3}$ 측정되었다. 라돈 농도가 지하에서 지상보다 7 $Bq \cdot m^{-3}$의 라돈 농도가 낮게 측정되었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 폐암을 유발하는 라돈 농도를 보다 많은 시설 공간을 측정하여 저감화 시킬 수 있다면 상주하는 직원, 환자 및 보호자에게 라돈에 의한 피폭 저감화를 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

This study was supported by a grant of Seoul Medical Center Research Institute (17-C07).

참 고 문 헌

환경부. 2010. 실내 라돈 저감 가이드라인.

EPA. 1988. Radon Reduction Techniques for Detached House. EPA-625-5-87-019.

EPA. 1996. Technical Basis for a Candidate Building Materials Radium Standard. EPA 600-R-96-022.

EPA. 2003. Assessment of radon risk in home. EPA 402-R-03-003.

EPA. 2010. Consumer's Guide to Radon Reduction. EPA 402-K-10/002.

EPA. 2012. A Citizen's Guide To Radon. EPA 402-K-09-001.

ICRP. 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65.

Ju YJ, Ryu YH, Jang HC, Dong KR, Chung WK, Cho JH, Kweon DC, Goo EH, Lee JS, Park CS and Lim CS. 2012. A Study on Concentration Measurements of Radon-222 (Uranium Series) and Radon-220 (Thoron Series) Emitted to the Atmosphere from Tex (Cementitious), Red Brick, and Ecocarat among Construction Materi. *J. Korean Phy. Soc*. **60**(7):1177-1186.

Lee CM, Gwak YK, Lee DH, Lee DJ and Cho YS. 2015. A study on the Prediction of Indoor Concentration due to Radon Exhalation from Domestic Building Materials. *J. Environ. Sci. Int*. **24**(9):1131-1138.

NCRP. 1976. Environmental Radiation Measurements. NCRP Report No 50.

UNSCEAR. 1988. Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York.

WHO. 2009. Who Handbook on Indoor Radon. World Health Organization 2009. Switzerland.

Received: 14 March 2018
Revised: 17 April 2018
Revision accepted: 11 June 2018