

L-Alanine의 방사선 화학 : EPR dosimetry 응용 (1)

Radiation Chemistry of L-Alanine : Application to EPR Dosimetry (1)

김민정 · 조영환 · 하영경 · 박양순 · 최인규

한국원자력연구소, 원자력화학연구팀
대전광역시 유성구 덕진동150

요 약

방사선과 같은 높은 에너지는 alanine과 tartrate와 같은 유기적 재료에 안정한 radical을 남긴다. Electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy는 방사선으로 인해 유발된 라디칼의 종류와 양을 측정하기에 아주 유용한 도구이다. ~mGy 에서 60 kGy 범위 내의 gamma선 조사 후의 L-Alanine 특성을 연구하기 위해 EPR 방법이 적용되었다. gamma선 조사로 인해 유발된 free radical은 상당히 안정하며, EPR intensity, radical concentration은 60 kGy 까지 비례했다. EPR방법의 결과로부터 alanine/EPR방법은 아주 낮은 조사량으로부터 높은 조사량에 이르기까지 gamma radiation dosimetry 측정을 위한 아주 유용한 기술임을 확인할 수 있었다.

Abstract

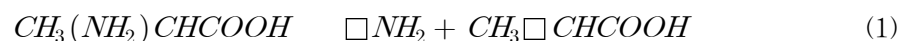
High energy ionizing radiation leaves stable radicals to certain organic materials, such as alanine and tartrate. Electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy is a powerful tool for the identification and quantification of these radiation-induced radicals. An EPR method has been applied to study the radical characteristics of L-alanine after gamma radiation dose in the range of ~mGy to 60 kGy. The free radicals induced by gamma radiation were fairly stable, and EPR intensity, radical concentration, was proportional to the absorbed dose up to 60 kGy. From the results of our EPR measurements, it can be concluded that an alanine/EPR method is a useful technique for gamma radiation dosimetry from very low to high dose range.

1. 서론

방사선 작업 종사자에 대한 방사선 피폭량 측정 관리는 주로 필름 또는 TLD बै지나 포켓 선량계와 같은 물리적 선량 측정계로 수행되고 있다. 그러나 부착 휴대한 선량계에 기록되지 않는 다른 신체부위의 피폭이나, 때때로 추가적 데이터의 뒷받침에 의한 보안이 필요한 경우, 여러 가지 변수에 따라 유효선량을 정확히 반영하지 못하는 경우, 이러한 선량계의 한계점을 극복하기 위해 여러 가지 방법들이 연구되어지고 있다.

그 중 수용액에 녹지 않는 유기물이 방사선에 피폭되면 유기물의 내부에 자유 라디칼이 형성되며, 생성된 유리기의 양은 조사된 방사선량에 비례하게 된다. 이러한 방사선 조사량을 측정하기 위해 수년 동안 EPR 방법이 제시되어 왔다. EPR을 이용한 피폭선량의 평가는 시료처리의 기술 숙달이라는 단점에도 불구하고, 다른 물리적 방법에 비하여 사용할 수 있는 시료의 폭이 넓은 점과 상대적으로 정확한 평가를 할 수 있다는 장점을 갖고 있다. EPR 측정법은 피폭된 물질의 전자 스핀의 분리효과를 이용한 것으로 피폭된 유기 물질을 자기장 속에 삽입하면 유리기의 스핀은 자기장에 정렬하려 하고 여기에 Microwave의 Power와 자기장의 세기 및 비율이 유리기의 수에 비례한다는 특징을 이용하여 방사선 피폭량을 측정한다.

그 중에서도 L-Alanine을 이용한 EPR 방법은 tissue equivalence, linear dose response, radical stability가 우수하다고 알려진바 있다. [1] 조사된 L-Alanine의 자유 라디칼($\text{CH}_3 \cdot \text{CHCOOH}$)은 좋은 EPR signal 결과를 보여준다. 생성된 라디칼의 안정성을 바탕으로 EPR/alanine dosimetry system에 적용하였다. alanine은 감마선에 의해 아래와 같은 형태의 라디칼을 생성하게 된다. [1, 2, 3]



EPR/alanine dosimetry system은 높은 조사량의 측정을 위한 기준이 된 방법으로서 IAEA에 의해서 추천되어지고 있지만 이 연구의 주요한 목적은 전반적으로 낮은 조사량 범위 내에서도 alanine dosimetry의 응용이 가능한가에 대하여 검토하였다. [2]

2. 실험

L-Alanine 한국원자력연구소의 선원 100,000Ci Co-60감마선 조사시설(AECL IR 79, Canada)를 이용하여 상온에서 5.5 Gy/min의 선량률로 alanine pellet에 각각 5, 10, 20 및 50 Gy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였다.

EPR 측정은 EPR X-band spectroscopy(Bruker EPR 300 spectroscopy, Bruker Instruments

Inc., Germany)를 이용하였다. 방사선 조사된 alanine의 EPR spectroscopy의 측정조건은 Table 1.에 나타내었다.

각각의 시료를 spectrometer내 필요한 자장을 걸어줄 수 있는 전자석의 양극 사이에 있는 공명기에 넣은 다음 일정한 파장의 마이크로웨이브에서 에너지 흡수가 관찰 될 때까지 자장 강도를 올려서 측정한다. 얻어진 EPR 강도를 이용하여 alanine의 검량선과 검증 및 일정 시간 후에도 방사선 조사로 생성된 라디칼의 안정성을 확인할 수 있는지를 알아보기 위하여 시료를 상온에서 9주간 보관하여 일정기간에 따라 EPR 신호를 측정하였다. EPR 측정 결과는 Bruker Win-EPR과 Simponia의 소프트웨어 프로그램을 이용하여 기록하였으며, EPR 신호는 적용자장에 대한 흡수곡선의 일차미분으로 나타내었다. EPR 신호의 강도는 일차미분 분광곡선의 중심 peak의 면적으로 정량하여 나타내었다. 걸어준 자장(magnetic field)과 microwave frequency의 값들의 비인 g-value로 EPR 특성을 나타내었으며, 그 계산식은 다음과 같다.

$$g_{signal} = \frac{71.448 \nu_{EPR}}{B}$$

ν_{EPR} : microwave frequency(GHz)

B : magnetic field(G)

3. 결과 및 고찰

L-Alanine의 방사선 조사선량에 따른 EPR 신호 크기를 Fig. 2.에 나타내었다. blank 시료의 EPR spectra는 특성 peak를 나타내지 않았으나 조사 시료에서 alanine의 g-value는 2.005에서 EPR 특성 신호를 나타내어 blank 시료와 뚜렷하게 구별할 수 있었고, 검량선을 위한 최소 선량인 5 kGy에서도 peak를 확인할 수 있었다. 또한 조사량이 증가함에 따라 EPR 신호 크기가 비례적으로 증가함을 알 수 있었다. 비례하는 조사량의 EPR 신호의 면적크기와 농도와의 관계선을 검량선으로 작성한 결과 $y = 38.19542X + 143.61609$ ($r=0.99262$)로 Fig.3.과 같이 나타났다. Fig. 3.의 검량선으로부터 Test 시료들을 9회 반복 측정하여

분석한 결과 Table 1과 같이 측정값과 이론값을 나타내었다. 아주 작은 선량인 0.5Gy 에서도 정확한 값을 찾을 수 있었다.

감마선 조사 후 시간에 따른 방사선 조사로 생성된 EPR 신호 크기의 변화를 알아본 결과는 Fig. 3. 과 같다. 50Gy의 선량에서 alanine은 0주에서 2주 사이에 EPR 신호 크기의 감소폭이 컸고, 2주 이후로는 어느 정도 일정한 신호의 크기를 보였으며, 선량이 높을수록 EPR 신호 크기의 감소폭이 크게 나타남과 9주 경과 후에도 라디칼이 안정하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이 연구를 통해서 특별히 시간과 노동의 비합리적인 노력이 없어도 dose range (\sim mGy - 60 kGy)에서의 alanine 조사량을 아주 쉽고 정확한 방법으로 측정할 수 있었다. 감마선에 의해 조사된 alanine의 자유라디칼은 꽤 안정한 상태로 유지되었으며, 조사량이 증가함에 따라 EPR 신호 또한 증가함을 알 수 있었다. 이것으로 보아 우리의 EPR 신호의 결과로부터 EPR/alanine dosimetry system 방법은 아주 높은 조사량으로부터 아주 낮은 조사량 이르기까지 방사선 조사량 측정에 아주 유용한 기술임을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. Sara Olsson, Eva S. Bergstrand, "Calibration of alanine dosimeters", ISRN ULI-RAD-R--92--SE Report 92, 2000, p4.
2. A. Lund, S. Olsson, M. Bonora, E. Lund, H. Gustafsson, "New materials for EPR dosimetry", Spectrochimica Acta Part A, 58, 1301 (2002).
3. S. Ebraheem, W. B. Beshir, S. 땅, R. Sobhy, A. Kovacs, "Spectrophotometric readout for an alanine dosimeter for food irradiation applications", Radiation Physics and Chemistry, 67, 569-571, (2003).

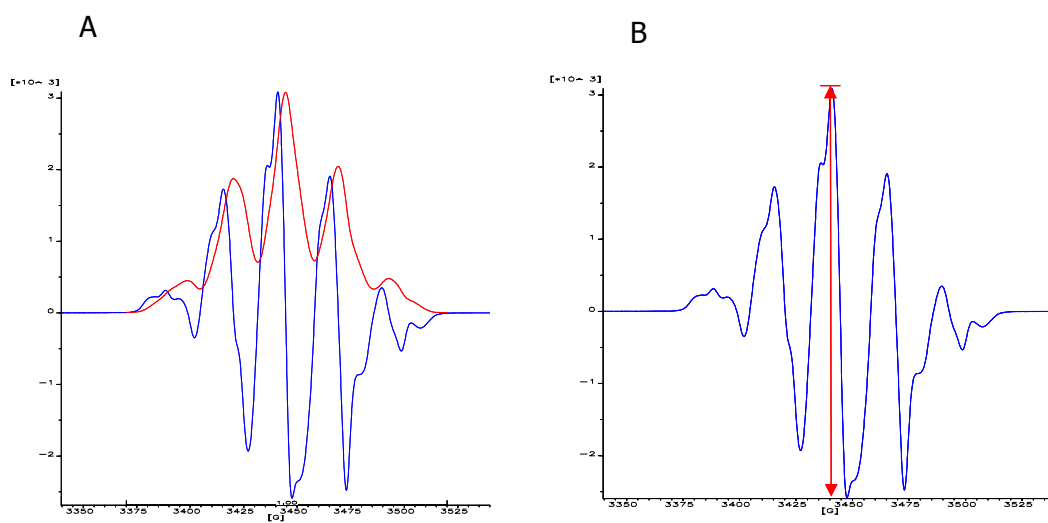


Fig. 1. Area and height from EPR spectra (A : Area, B : height)

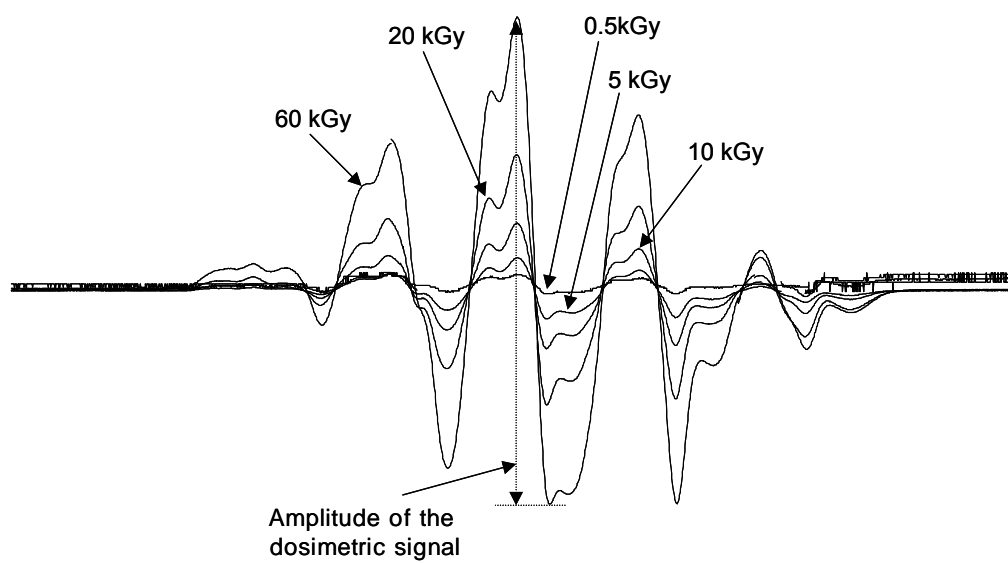


Fig. 2. EPR spectra of alanine detectors irradiated with typical single-fraction doses (0.5, 5.0, 10, 20 and 60 kGy).

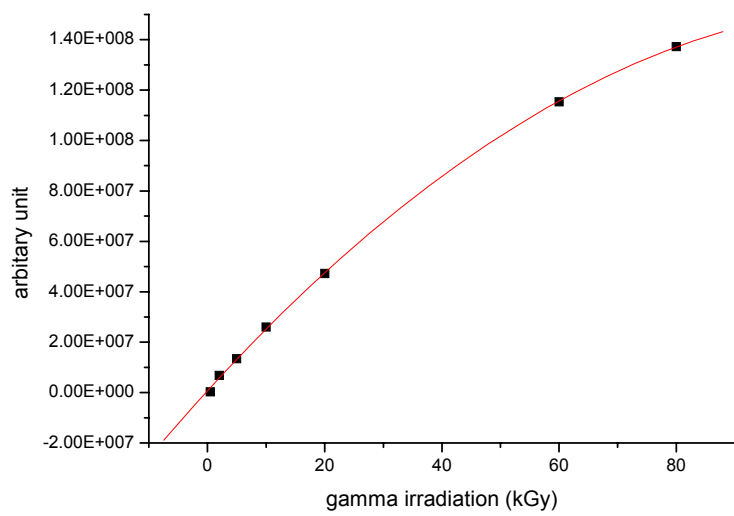


Fig. 3. The calibration curve of irradiated L-Alanine

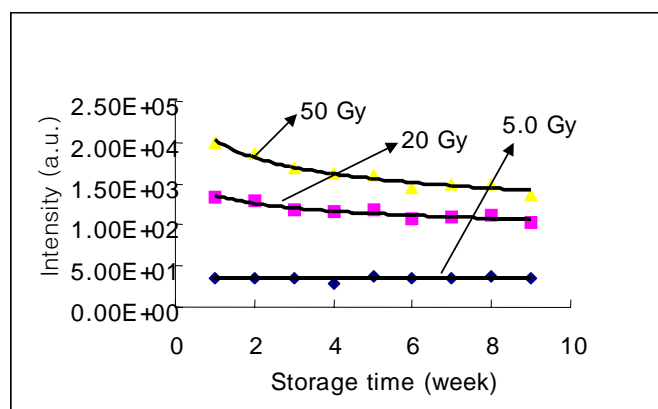


Fig. 3. EPR intensity change of irradiated L-Alanine.

Parameters	value
Number of scans	2
Receiver Gain	7.10×10^2
Mod. Frequency	100kHz
Mod. Amplitude	1.00G
Sweep width	200.00G
Microwave frequency	9.665 GHz
Microwave power	2.012mW

Table 1. Parameters for the measurement of EPR spectrum

Replicate dosimetry	Target dos (Gy)			
	5.0	10	20	50
1	5.04	12.50	19.74	49.56
2	4.50	9.54	21.66	50.58
3	5.01	9.45	19.40	49.81
4	4.56	9.80	20.85	51.15
5	5.79	9.37	20.62	52.12
6	5.79	12.59	20.37	51.36
7	5.01	10.53	20.31	49.51
8	5.40	8.98	20.89	50.05
9	4.85	9.79	20.99	50.76
Mean	5.04	10.28	20.54	50.67
RSD(%)	7.9	13.1	3.3	1.7

Table.2. EPR signal of test dosimeters irradiated and measured