

극초단파 조사에 따른 휴대전화 손상형태 분석

글 김진표 국립과학수사연구원 화재연구실장

1. 머리말

국내 통계청 자료에 따르면 국내에서 등록되어 사용 중인 휴대전화는 2010년 기준으로 약 5천만대에 이르고 있으며, 국제전기통신연합 ITU의 보고서에 따르면 2008년 기준 전 세계적으로 휴대전화 등록대수는 40억대를 초과하였고, 현재에도 연간 12억대의 휴대전화가 생산되고 있는 추세이다. 이러한 추세를 반영하듯 휴대전화와 관련된 사건사고 또한 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 휴대전화의 외함은 플라스틱 재질로 구성되는 것이 일반적이며, 휴대전화에 극초단파를 조사하는 경우 외함이 열변형되는 현상을 일으키고, 이러한 열변형 형상은 화재로 인한 변형 형상과 유사한 특성을 나타낸다. 이로 인하여 전자레인지 등의 극초단파에 의해 휴대전화가 소훼되는 경우 화재에 의한 것으로 오판될 수 있으며, 극단적인 경우 사기범죄에 악용되기도 한다. 실제로 각 통신사별 과다 경쟁으로 인해 무상 제공된 휴대전화를 전자레인지에 넣고 손상시켜 화재로 인한 것이라는 민원을 제기한 후, 제조물책임법에 근거하여 제조사에 보상을 요구한 범죄행위가 발생되기도 하였다.

따라서 휴대전화에 대한 정확한 화재원인 분석 및 사기범죄 여부 확인을 위하여 극초단파를 직접 휴대전화에 조사하고, 이때 발생하는 휴대전화의 손상형태를 분석하였다. 극초단파 조사를 위하여 전자레인지를 이용하였으며, 전자레인지의 마그네트론에서 발생하는 2.45GHz의 극초단파가 휴대전화에 인가될 때 휴대전화의 손상형태를 분석하였다. 휴대전화에 극초단파의 조사 시간은 30초~60초 사이로 하였으며, 극초단파를 차단한 이후 휴대전화 전체의 온도변화 및 손상형태를 관찰하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 휴대전화는 국내 S사의 폴더 타입으로 외함은 플라스틱으로 구성된 것을 사용하였으며, [그림 1]에 실험에 사용된 휴대전화의 외관 및 내부 구성부품을 나타내었다.



[그림 1] 실험 전 휴대전화의 모습

[그림 1]에 나타난 폴더 타입 휴대전화의 폴더 부분은 금속으로 구성되는 힌지(hinge)를 통해 연결되어 있으며, 내부 상단에 내부기판이 설치되고, 동 내부기판과 하단 부위의 마이크 및 인테나(Intenna) 사이에 배터리가 장착되어 있다. 휴대전화의 인위적인 손상을 만들기 위하여 극초단파를 인가하는 실험을 수행하였으며, 극초단파 발생에는 [그림 2]에 나타난 바와 같이 전자레인지(LG전자 M-M209BP, Korea)를 사용하였다. 실험에 사용된 전자레인지는 700W 정격으로 2.45GHz의 극초단파가 발생되는 것을 이용하였다.



[그림 2] 실험장치의 개략도 및 실험 모습

전자레인지 내부에 휴대전화를 넣고, 30초에서 60초 사이의 시간동안 극초단파를 인위적으로 조사하였다. 극초단파의 조사 시간은 예비실험을 통하여 육안으로 열변형 및 온도변화가 식별되는 최소 시간을 산정하였으며, 제조사 및 기판의 손상형태가 식별 가능한 수준으로 설정하였다. 극초단파 조사 이후, 열화상 카메라(NEC, TH9100, Japan)를 이용하여 휴대전화 외부의 온도분포를 측정하였으며, X-ray를 이용한 비파괴 검사 및 분해 검사를 통하여 휴대전화의 손상 형태를 분석하였다.

실험에 사용한 휴대전화의 전원은 켜짐 상태인 경우와 꺼짐 상태인 경우의 2가지 모두를 고려하여 극초단파를 인가하고, 전원의 켜짐 여부에 대한 평가도 수행하였다. 전원 켜짐 여부에 대한 실험에서는 휴대전화의 배터리를 완전히 충전한 상태에서 휴대전화 전원을 켜고, 극초단파를 60초 동안 인가하였을 때 배터리 부분을 포함한 휴대전화의 손상 정도를 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

전자레인지를 이용하여 휴대전화에 극초단파를 인가한 결과, 먼저 10초 및 20초 동안 극초단파를 인가하는 경우, 실험대상 휴대전화는 육안으로 식별되는 열변형 등의 손상이 발생되지 않았으며, 온도변화도 크게 나타나지 않았다.



(a) 휴대전화 외부의 손상형태

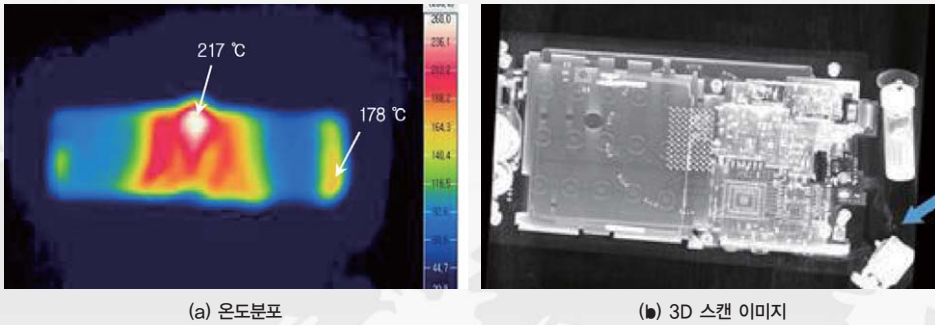
(b) 휴대전화 내부의 손상형태

[그림 3] 극초단파 인가 후 휴대전화 손상형태

30초 이상 휴대전화에 극초단파를 인가하는 경우 휴대전화는 플라스틱 외함을 중심으로 손상되는 경향을 보였으며, 극초단파의 인가시간에 따라 휴대전화는 더욱 심하게 손상되는 형태를 보였다.

[그림 3]은 50초 동안 극초단파를 인가하였을 때 휴대전화 외부의 손상 형태를 나타낸 것으로 폴더 힌지(Folder hinge)와 안테나(Intenna) 설치 부분이 다른 부위에 비해 상대적으로 심하게 소화된 형상을 나타내는데, 이러한 현상은 동 부위에 금속 구조물이 내장되어 있기 때문으로 판단된다. 전자레인지의 마그네트론에서 발생하는 극초단파를 음식물 등에 조사하는 형태의 유전가열 방식을 적용하는 구성으로 금속 부분 등이 존재하는 경우, 동 부분에 전자파가 집중되면서 발열이 발생하는 특징을 나타내는 특징이 있다. 이러한 특징을 고려할 경우, 실험에 사용한 휴대전화는 금속물질이 내장되어 있는 폴더 힌지 및 안테나 설치 부분에 극초단파가 집중될 수 있어 상대적으로 심하게 소화된 것으로 볼 수 있다.

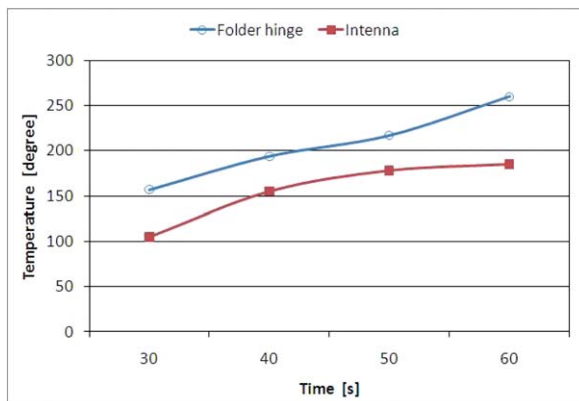
극초단파를 휴대전화에 조사하는 경우, 휴대전화 외부의 온도분포는 [그림 4]에 나타낸 바와 같이 폴더 힌지 부분이 가장 높은 온도분포를 보이며, 안테나 설치 부분에서도 다른 부분에 비해 상대적으로 높은 온도분포를 나타내는 것으로 평가되었다.



[그림 4] 극초단파를 인가하였을 때 휴대전화 온도분포

휴대전화에 극초단파를 인가한 후, 열화상 카메라를 이용하여 전체적인 온도분포를 측정하였으며, 이중 폴더 힌지 및 인테나 부분의 온도를 [그림 5]에 나타내었다. 폴더 힌지 부분의 온도는 극초단파 조사 시간에 따라 상승하는 경향을 나타내며, 최대 260°C까지 상승하는 것으로 측정되었다. 열화상 카메라를 이용한 온도 측정 시에는 실험 종료 후, 전자레인지에서 휴대전화를 꺼내어 측정 위치까지 옮기는 시간 등이 포함되는 점을 고려할 경우, 열화상 카메라에서 측정된 온도 보다 높은 온도범위까지 상승하는 것으로 추정된다.

인테나 부분의 온도는 폴더 힌지 부분에 비해 상대적으로 낮게 측정되며, 최대 상승 온도는 60초 동안 극초단파를 인가하는 경우 185°C 범위까지 상승하는 것으로 측정되었다. 폴더 힌지 부분과 마찬가지로 실험 종료 시점과 측정 시점의 시간차를 고려한다면 실제로는 보다 높은 온도일 것으로 생각된다. 실제로 실험에 사용된 휴대전화의 실험 전 표면온도는 주위 온도와 유사한 약 22°C이었던 점을 고려할 경우, 극초단파 조사에 따라 휴대전화의 표면온도가 상승되는 것으로 판단되며, 금속이 존재하는 부분의 온도 상승이 더욱 크게 나타나는 경향을 보였다.



[그림 5] 휴대전화의 폴더힌지 및 인테나 설치 부분의 온도 분포

앞서 설명한 바와 같이 폴더 힌지 부분 및 인테나 부분에는 금속 구조물이 내장되어 있어 극초단파가 집중되며, 이로 인해 동 부위의 온도가 다른 부분에 비해 상대적으로 높게 상승하는 것으로 판단되며, 이러한 영향으로 폴더 힌지 부분 및 인테나 부분이 다른 부분에 비해 상대적으로 심하게 소훼되는 것으로 볼 수 있다.

극초단파를 인가하여 인위적으로 손상시킨 휴대전화 내부의 손상 형태를 [그림 6]에 나타내었다. [그림 6 (a)]는 배터리가 장착되는 부분으로 배터리 자체는 손상되지 않는 특징을 나타내며, 인테나와 인접한 부분 일부만이 열변형된 형상이 관찰된다. 동 부위의 손상 형태는 인테나 상단의 외함이 일부 열변형되는 과정에 종속하여 발생된 것으로 추정되며, 배터리 자체의 결함 등은 발생되지 않은 것으로 판단된다. 이러한 특징을 고려할 경우, 휴대전화에 실험조건과 같이 60초 이내의 극초단파를 인가하더라도 배터리 부분은 손상되지 않는 것으로 평가되었다.

[그림 6 (b)]는 휴대전화 내부기판 부분의 손상 형태를 나타낸 것으로 폴더 힌지와 인접한 상단 부분이 일부 소훼된 것 이외에 손상이나 파손 형상은 관찰되지 않으며, 극초단파 인가 이후, 내부기판의 결함 등을 유발하였다고 판단할 만한 특이 흔적은 식별되지 않았다.

[그림 6 (c)]는 인테나가 설치된 하단부 부분으로 인테나 설치 부분을 따라 열변형된 형상이며, 동 부위는 극초단파가 집중될 수 있는 인테나의 영향으로 다른 부위에 비해 상대적으로 심하게 소훼된 것으로 추정된다.



[그림 6] 극초단파 인가 후 휴대전화 내부의 손상형태

특히 배터리 부분의 결함으로 휴대전화에서 화재가 발생하는 경우, [그림 7]에 나타낸 바와 같이 배터리의 부풀어 오름 현상 등이 나타나는데 극초단파 인가 실험에서는 이러한 현상은 나타나지 않았다. 따라서 휴대전화에 극초단파를 인가하는 것으로 배터리 자체의 결함을 유발시켜 화재로 이어지게 할 수는 없는 것으로 생각된다.

앞서 설명한 휴대전화 손상 형태는 휴대전화 전원의 꺼짐 상태 및 켜짐 상태에서 동일한 양상으로 나타나는데, 이러한 특징을 고려할 경우, 극초단파에 의한 손상형태는 휴대전화 전원의 공급 여부와 무관하게 동일한 형태로 나타나는 것으로 평가되었다.

휴대전화에는 침수라벨이 삽입되는 것이 일반적이며, 침수라벨은 휴대전화가 침수되는 경우, 일정한 표시가 변형되거나 변색되는 형태를 지니게 된다. 극초단파를 인가하는 실험에 사용된 휴대전화는 [그림 8 (a)]에 나타낸 바와 같이 보라색의 X자 표시가 되어 있는 형



[그림 7] 배터리 결함에 의한 화재에서 배터리 손상형태

태이며, 침수가 발생되는 경우, [그림 8 (b)]와 같이 보라색의 X자 표기 부분이 물에 녹으면서 먼저 없어지는 특징을 나타낸다.

이러한 특징으로부터 최초 휴대전화에서 화재가 발생하고, 소화 작업을 위해 물을 뿌리는 경우 침수라벨이 변형 및 변색되는 양상을 나타낸다. 그러나 극초단파를 인가한 실험에서는 [그림 8 (c)]에 나타난 바와 같이 실험이 완료된 이후, 침수라벨 부근에 물을 뿌려도 변형 및 변색되지 않는 특징을 나타낸다.



[그림 8] 휴대전화 침수라벨의 변화 모습

휴대전화 후면 덮개 내측에 부착된 침수라벨은 휴대전화가 침수되는 경우 X자 표시 부분이 먼저 희미하게 변하는 특성이 있으나, 연소 과정에서 탄화 및 그을음 부착이 선행 발생하는 경우 침수 여부와 상관없이 번짐 등의 특징이 나타나지 않는 것으로 추정된다. 따라서 침수라벨의 변형 여부에 의해 휴대전화 결함을 판단하는 것은 적용하기 어려운 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행한 실험은 휴대전화에 극초단파를 인가하는 경우, 휴대전화의 손상 형태를 분석한 것으로 휴대전화의 전원 투입 여부와 무관하게 폴더 힌지 부분 및 안테나 부분이 상대적으로 심하게 소해되는 특징을 나타내었다. 특히 배터리 부분에서는 배터리 결함에 의해 발생하는 부풀어 오름 현상이나 파손은 발생되지 않는 특징을 보였다. 또한 휴대전화 후면 덮개 내측에 부착된 침수라벨은 연소 과정에서 탄화 및 그을음 부착이 선행 발생하는 경우, 침수 여부와 상관없이 번짐 등의 특징이 나타나지 않는 상태로 침수라벨을 이용한 사고원인 분석은 한계가 있는 것으로 판단된다.㉞