

2차 전지의 방전에 의한 수소-공기 혼합가스의 점화에 관한 연구

이춘하[†] · 권병덕 · 오종용*

호서대학교 환경안전공학부 · 호서대학교 대학원 안전공학과
(2004. 7. 22. 접수 / 2004. 9. 13. 채택)

A Study on the Ignition of Hydrogen-Air Mixture Gas by Spark of Rechargeable Battery

Chun-Ha Lee[†] · Byung-Duck Kwon · Jong-Ryong Oh*

Department of Safety System Engineering, Hoseo University

*Department of Safety Engineering, Hoseo University

(Received July 22, 2004 / Accepted September 13, 2004)

Abstract : This papers describes on the experimental consideration for the intrinsically-safe explosion-proof capability of rechargeable battery's body about main item, rechargeable battery and cellular phone battery which is selling in domestic that IEC(International Electrotechnical Commission) recommend the measurement of ignition limit by short circuit of rechargeable battery and temperature increase test to use a explosion grade Group II C type of explosion-proof type apparatus test an object of hydrogen gas.

Because of that, there are many different results for existence or nonexistence for ignition by different company and different types. It is concluded that the maximum of self temperature increasing by spark circuit of rechargeable battery is 180°C in case of Nickel-Hydrogen, and 110°C in case of Nickel-Cadmium. The reaction of cellular battery for external temperature have following processes. It is confirmed that the temperature of reaction is rise slantly as the ambient temperature rising, then exterior shape of one is swell up and change when the temperature of ambient reach to about 130~140°C, and when reach to about 160°C the battery is blown up.

Therefore, it is considered that have to be in considering selection of rechargeable battery using in itself due to different ignition limits of various rechargeable battery when the portable electric containing rechargeable battery are designed, produced and used, the characteristics and the proper safety factors of devices.

Key Words : rechargeable battery, cellular phone battery, IEC

1. 서 론

폭발성 가스가 존재하는 폭발위험장소에서 사용하는 휴대용 전기기기는 고장 시 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열 등이 요인이 되어 주위의 폭발성 가스가 점화되어 폭발사고를 일으킬 가능성이 충분하다. 종전에 1차 전지(건전지)의 방전에 의한 점화에 관한 연구가 이루어졌고 그에 따른 해결책이 제시되었다.

현대 사회에는 휴대용 전화기, camcorder, 노트북 PC, digital camera 등 휴대용 전기기기의 급속한 발

전과 보급 확대도 빨라지고 있으며 그로 인해 사용되어지는 2차 전지의 수요가 급증하고 있다^{1,2)}.

따라서 본 논문에서는 국내에서 시판되고 있는 2차 전지 중에서 휴대용 기기에 가장 많이 사용되어지는 품목(R6, R03, Slim)과 핸드폰배터리에 대하여 IEC(International Electrotechnical Commission)에서 폭발등급 group II C구조의 방폭형 전기기기의 방폭 성능 평가에 사용하도록 권고하고 있는 수소가스를 대상으로 2차 전지의 단락에 의한 점화유무를 측정함과 아울러 온도상승 시험을 실시, 2차 전지 자체의 점화 가능성에 대하여 실험적으로 고찰함과 아울러 전지의 방폭 성능을 알아보고자 한다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
leecha@office.hoseo.ac.kr

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 실험에 사용된 IEC형 불꽃점화 시험장치는 기계적으로 동작하는 개폐전극을 사용하여 통전중인 전기회로를 개폐할 때 발생하는 방전불꽃에 의한 가스 점화유무를 시험하는 장치이다.

KS C IEC 60079-11에 규정되어 있는 Fig. 1과 같은 IEC형 불꽃점화 시험장치를 사용하여 폭발성 가스의 점화유무를 측정하였으며 구성도는 Fig. 2와 같다.

이 시험장치는 IEC Publication 60079-3(Spark test apparatus for intrinsically-safe circuits)에 나타나 있는 IEC형 불꽃점화 시험장치로 Fig. 3과 같이 불꽃 발생용의 전극부가 들어있는 폭발조와 혼합가스의 공급 및 배기계통으로 크게 나눌 수 있다.

폭발조는 내용적이 약 250cm^3 로서 플라스틱 뚜껑과 베이스 플레이트 및 기밀유지를 위한 패킹 등으로 구성되어 있다. 그 내부에 전극부가 들어있

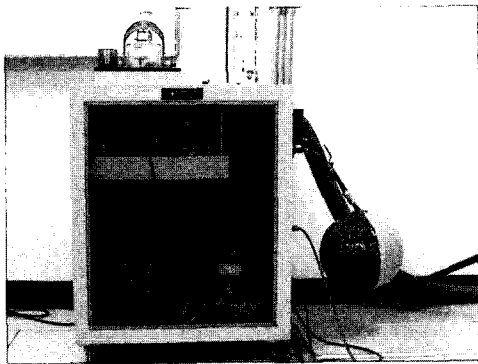


Fig. 1. Spark ignition test apparatus of IEC type

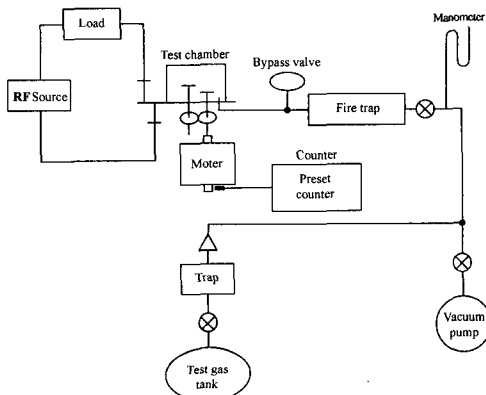


Fig. 2. Schematic diagram of ignition test apparatus for explosive gas

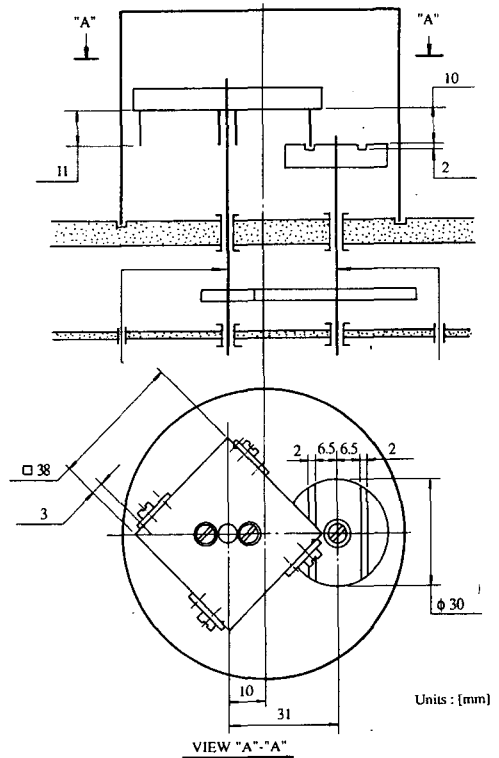


Fig. 3. Shape and size of electrode part

며 양극은 직경 0.2mm의 텅스텐(W)선으로서 정사각형의 금속판 내 모퉁이에 1개씩 고정되어 있고 음극은 2줄의 평행한 홈(폭 2mm, 깊이 2mm)이 있는 카드뮴(Cd)의 원판으로 되어있다.

전극부에서 텅스텐선이 고정되어 있는 금속판의 회전축과 카드뮴 원판전극의 회전축은 각각 80rpm과 19.2rpm의 속도로 반대 방향으로 회전하며 양 중심축 사이에 시험회로를 접속하여 회전시키면 텅스텐선의 끝이 차례로 카드뮴의 표면과 접촉하면서 개폐불꽃이 발생한다.

텅스텐선은 그 끝이 카드뮴 원판에 있는 홈의 중간까지 오도록 고정되어 있으므로 전극의 회전축이 회전중일 때는 텅스텐선은 먼저 카드뮴 원판의 원주부와 접촉하여 그 상태로 카드뮴 원판의 표면과 텅스텐선의 끝은 서로 접촉을 유지하다가 홈이 있는 곳에서 일단 서로 떨어진 후 다시 접촉한다. 이후 계속 회전하면 카드뮴 원주의 끝부분에서 서로 떨어져버린다.

양 전극(텅스텐선과 카드뮴 원판)의 상대적인 개폐속도는 텅스텐선이 카드뮴의 표면 위를 이동중일 때는 약 25cm/sec이지만 텅스텐선이 카드뮴의 원주

에서 떨어져 나갈 때는 텅스텐선의 스프링 작용에 의하여 약 2,000cm/sec에 이른다³⁾.

2.2. 실험방법

2.2.1. 전지의 점화한계 실험방법

IEC 60079-11(Construction and test of intrinsically-safe and associated apparatus)에서 직류회로의 본질 안전 방폭성을 평가할 때의 불꽃발생횟수는 극성을 바꾸어 각각 800회 이상으로 규정하고 있다. 그러므로 본 실험에서는 Fig. 4와 같은 임의의 회로조건을 설정하여 불꽃발생장치의 전극간에 극성을 각각 800회까지 바꾸어 폭발성 가스(수소-공기 21±2 Vol.%)를 대상으로 개폐불꽃을 발생시켜 그 점화유무를 확인하였다.

실험에 사용된 전지는 제조 후 3개월 이내의 것으로 현재 시중에 시판되어 많이 사용되고 있는 전지를 선정하여 각 전지마다 권장하고 있는 충전기를 사용하여 완전충전 시킨 후 각각의 전압을 측정하였다.

그리고 표본 30개에 평균 값 이상의 전지만을 선택하여 실험에 사용하였으며 전지의 단자 모양이 직렬연결 사용이 가능한 것과 그렇지 않은 경우로 구분하여 실험을 하였다. 직렬연결사용이 가능한 전지에 대해서는 직렬로 연결하여 불꽃점화시험을 실시하였을 때 점화가 되어지는 전지의 최소 개수를 확인하였고, 직렬연결이 불가능한 전지에 대하여는 전지 그 자체의 점화유무만을 확인하였다.

2.2.2. 전지의 단락전류 실험방법

단락 전류의 측정방법은 KS C IEC 61436 “밀폐형 충전용 Ni/MH 단전지”와 KS C 8521 “고정형 니켈·카드뮴 알칼리 축전지”의 규정에 따라 실시하였으며 방법은 다음과 같다⁴⁾.

충전은 0.1I₀A의 정전류로 16시간 동안 수행하였으며, 측정하기 전에 전지는 0.2I₀A의 정전류로 1.0V 까지 방전시킨 것을 충전하여 사용하였다.(I₀A로 표현하는 기준 시험 전류)

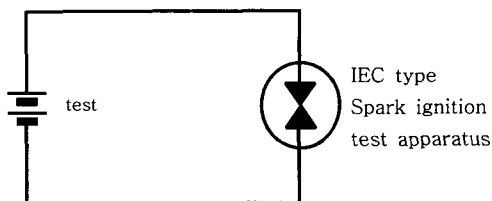


Fig. 4. Test circuit short-circuit ignition of rechargeable cells

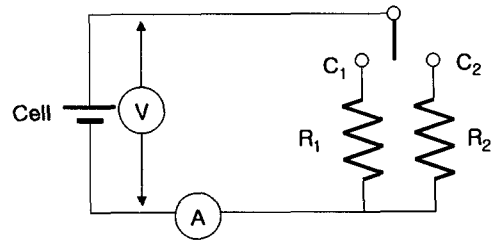


Fig. 5. Measurement circuit for short-current of cell

단락전류 측정은 Fig. 5와 같이 시험전지와 직렬로 R₁, R₂와 같은 기준저항과 나이프 스위치를 접속하였다. 먼저 나이프 스위치를 C₁으로 닫아 전지를 일정 전류 I₁으로 10초 동안 방전시키며, 전압 U₁을 측정하여 기록하였다.

다음 나이프 스위치를 즉시 C₂ 쪽으로 닫아 방전 전류를 즉시 I₂로 증가시키고 3초 동안 방전시키며, 전압 U₂를 측정하여 기록하였다.

이상의 실험방법을 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다.

모든 전압 측정 단자는 전류 측정과는 독립적으로 측정한다. 전지의 내부 직류 저항 r은 다음 식을 이용하여 계산한다.

Fig. 6에서 전지의 내부 저항 r은

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \Omega \text{ 이고,} \tag{2-1}$$

단락 전류 I₀는

$$v = -\frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} i + V \text{ 에서} \tag{2-2}$$

v = 0 일 때 i = I₀이므로

$$I_0 = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \cdot V \tag{2-3}$$

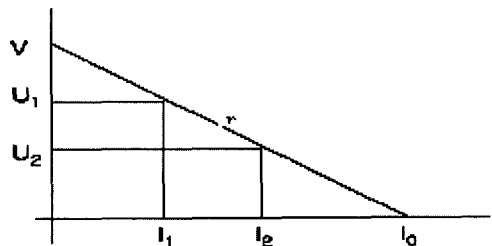


Fig. 6. A graph of experimentation

단, 여기에서

I_1 : 0.2 I₀ A의 일정 방전 전류(A)

I_2 : 2 I₀ A의 일정 방전 전류(A)

U_1, U_2 : 방전시 측정된 전압(V)

단락전류의 크기가 정규분포를 따르는 것으로 간주한다면 n 개의 전지에 대한 실측치에 의한 단락전류의 확률에 대응하는 최대 단락전류 I_{max} 는 다음식과 같다.

$$I_{max} = I_0 + k \cdot \sigma$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i + k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - I_0)^2}{n}} \quad (2-4)$$

여기에서 I_0 은 n 표본 평균, I_i 는 i 번째 전지의 실측 단락전류를 나타내며, 본 실험에서는 $n = 30$ 으로 하여 정규분포를 따른다고 보아 95%의 신뢰도로 k 계수의 값을 1.96으로 두어 계산하였다^{7,9)}.

2.2.3. 전지의 온도상승 실험방법

전지의 온도상승 실험 방법은 주위온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 전지를 단락시켜 전지 자체의 온도상승에 대한 변화를 열화상장치와 온도센서를 사용하여 측정하였다.

2차 전지의 초기 온도를 측정된 후 단락시킨 후 10초 간격으로 온도 상승을 측정하였으며, 상승 온도가 최고점에 도달하여 다시 온도가 떨어지는 시점까지 온도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 2차 전지의 단락점화

전지의 단락방전에 의한 결과는 Table 1, 2, 3과 같다. Table 1, 2는 전지가 서로 직렬연결 사용이 가능한 구조로 되어있는 경우 전지를 직렬연결 하였을 때 단락점화가 이루어지는 전지의 최소 개수를 나타내고 있으며, Table 3은 전지의 직렬연결 사용이 가능하지 못한 경우를 나타낸 것이다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) R6(1.2V, Ni-MH) 형식은 회사별 구분 없이 3개에서 점화가 되었으므로 2개 이상을 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

2) R03(1.2V, Ni-MH) 형식 중에 B사에 있는 것으

로 용량이 800mAh는 4개에서 점화가 되었으므로 3개 이상을 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

3) R03(1.2V, Ni-MH) 형식은 회사별 구분 없이 3개에서 점화가 되었으므로 2개 이상을 직렬연결 사용하면 위험하다.

4) Slim(1.2V, Ni-MH) 형식은 C사는 2개, D사는 3개에서 점화가 되었으므로 1개 이상 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

5) R6(1.2V, Ni-Cd) 형식은 회사별 구분 없이 3개에서 점화가 되었으므로 2개 이상 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

6) R03(1.2V, Ni-Cd) 형식은 회사별 구분 없이 3개에서 점화가 되었으므로 2개 이상 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

7) Slim(1.2V, Ni-Cd) 형식은 B사 2개, C사는 3개에서 점화가 되었으므로 1개 이상 직렬연결 사용할 경우에는 점화한계 이상이 되므로 위험하다.

Table 1. The minimum ignition limits of rechargeable cells (series, Ni-MH)

Type	Company	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	Average voltage [V]	The minimum ignition limits of rechargeable cells [개]	Gas
R6	A	2100	1.2	4.063	3	hydrogen-air 21±2 [Vol.%]
R03	B	800	1.2	4.97	4	''
R03	C	750	1.2	3.383	3	''
Slim	C	1400	1.2	2.718	2	''
R6	D	2000	1.2	4.08	3	''
R03	D	750	1.2	3.87	3	''
Slim	D	1350	1.2	4.11	3	''

Table 2. The minimum ignition limits of rechargeable cells (series, Ni-Cd)

Type	Company	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	Average voltage [V]	The minimum ignition limits of rechargeable cells [개]	Gas
R6	A	700	1.2	4.153	3	hydrogen-air 21±2 [Vol.%]
R03	B	250	1.2	4.060	3	''
Slim	B	650	1.2	2.727	2	''
R6	C	650	1.25	4.152	3	''
R03	C	250	1.25	3.758	3	''
Slim	C	650	1.2	3.966	3	''

Table 3. Ignition of rechargeable cells (itself)

Type	Company	Nominal voltage [V]	Average voltage [V]	Ignition state	Gas
ES 1.2-12	A	12	12.8	○	hydrogen-air 21±2 [Vol.%]
ES 4-6	A	6	6.84	○	〃
NP-QM91	B	7.2	8.31	×	〃
NP-FS11	B	3.6	4.21	×	〃

(○ : Ignition × : No ignition)

Table 4. Ignition of rechargeable cells (cellular phone battery)

MODEL	Company	Nominal voltage [V]	Average voltage [V]	Ignition state		Gas
				Safety device	Safety device remove	
BST0549WK	A	3.7	4.148	×	○	hydrogen-air 21±2 [Vol.%]
HBT-2733L	B	3.7	4.140	×	○	〃
BAT-800S	C	3.7	4.164	×	○	〃
J-7210L600	D	3.7	4.055	×	○	〃

(○ : Ignition × : No ignition)

8) A사의 납축전지(6V)와 (12V)는 전지 1개의 자체 단락전류에 의해 점화가 되었으므로 본질안전 방폭기기에 사용하면 위험하다.

9) B사의 리튬이온전지 (3.6V)와 (7.2V) 형식은 전지 1개의 자체 단락전류에 의해 점화가 되지 않았으므로 본질안전 방폭기기에 사용이 가능한 것으로 생각된다.

또한 Table 4는 현재 시중에서 많이 사용하고 있는 핸드폰 배터리에 대하여 단락점화 실험을 실시한 결과를 나타내었다.

국내의 핸드폰 제조사 3개사와 국외 1개의 핸드폰 제조사를 대상으로 한 단락점화실험 결과, 정상상태인 핸드폰 배터리의 경우 단락에 의한 점화는 이루어지지 않았다. 그러나 이상상태(보호회로 제거, 즉 핸드폰 배터리 내부에 장착되어 있는 과충전, 과방전, 단자의 단락 보호 장치가 고장이 생겨 본래의 기능을 다하지 못하는 경우)인 경우 모든 핸드폰 배터리가 점화되는 현상을 확인하였다.

핸드폰 배터리를 포함한 리튬이온 전지는 Fig. 7에서 보는 것처럼 전지 내부에 전지팩 보호회로가 장착되어 있어 과충전, 과방전, 단자의 단락 보호 역할을 하고 있어 사고시 전지팩이 안전하도록 보호하고 있다. 하지만 실험에서 보여진 것처럼 보호

회로의 고장 또는 제품자체의 결함으로 인한 이상상태가 생긴다면 폭발성 가스가 존재하는 위험지역에서의 단락에 의한 점화가 충분히 발생할 수 있다는 것을 확인하였다.

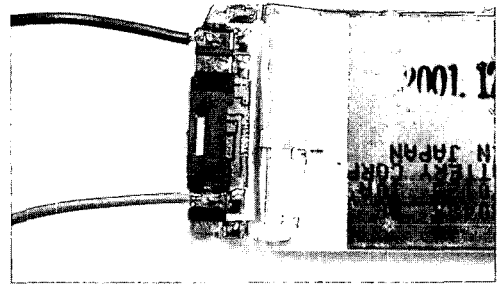


Fig. 7. Protection channel of cellular phone battery

Table 5. Short circuit currents of rechargeable cells

(a) Sealed nickel-metal hydride rechargeable single cells(A Co.)

Type	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	I_0 [A]	σ [A]	I_{max} [A]
R6	2100	1.2	19.95	3.02	25.87
slim	1400	1.2	14.14	1.68	17.43
R03	800	1.2	14.32	1.08	16.44
R03	750	1.2	14.56	1	16.52

(b) Sealed nickel-metal hydride rechargeable single cells(B Co.)

Type	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	I_0 [A]	σ [A]	I_{max} [A]
R6	2000	1.2	20.01	2.28	24.48
slim	1350	1.2	12.52	0.33	13.17
R03	750	1.2	15.58	1.30	18.13

(c) Stationary nickel-cadmium rechargeable single cells(A Co.)

Type	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	I_0 [A]	σ A	I_{max} [A]
R6	700	1.2	22.23	3.64	29.36
slim	650	1.2	9.98	2.28	14.65
R03	250	1.2	12.13	2.28	16.60

(d) Stationary nickel-cadmium rechargeable single cells(B Co.)

Type	Capacity [mAh]	Nominal voltage [V]	I_0 [A]	σ [A]	I_{max} [A]
R6	650	1.25	18.22	3.91	25.88
slim	600	1.2	14.97	3.65	22.12
R03	250	1.25	13.19	1.08	15.31

3.2. 전지의 단락전류

일반적으로 폭발성 가스에서의 점화한계는 회로의 전압과 전류에 관계가 있다. 따라서 전압이 동일한 전지에서 점화의 양상이 각각 다르게 나타나는 것은 전지 자체의 내부저항(r)에 의한 방전 전류가 각각 다르기 때문에 나타나는 현상이라고 추론된다. Table 5는 2차 전지의 단락전류를 구한 것으로 각각의 형식 및 회사별로 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 전지를 형식별로 구분하여 보면 다음과 같다.

- 1) R6 type은 니켈-수소와 니켈-카드뮴의 구별 없이 최대 단락 전류는 24.48~29.36A에서 3개까지 점화가 이루어 졌다.
- 2) R03 type은 15.31A~16.60A에서 3개까지 점화가 이루어 졌다.
- 3) Slim type은 A사의 경우 니켈-수소는 최소점화개수 2개에서, 니켈-카드뮴은 3개에서 점화가 이루어졌다. B사의 경우 니켈-수소는 최소점화개수 3개에서, 니켈-카드뮴은 2개에서 점화가 되었다. 이때 형식별 구별 없이 최소점화개수가 2개일 때와 3개일 때 최대단락전류 값을 보면 2개일 때 17.43A~22.12A, 3개일 때 13.17A~14.65A로 단락전류의 크기가 확실히 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 전지의 온도상승

2차 전지 자체의 지속적인 단락전류에 의하여 전지 자체의 과열로 인한 폭발성 가스에서의 점화 위험성을 판단할 수 있는 전지의 온도상승에 대한 시간 변화 값을 Fig. 8, 9, 10, 11에 각각 나타내었다.

- 1) Fig. 8(A사, Ni-MH)를 보면 R6 type과 R03 type의 경우 온도 상승 기울기가 큰 것을 볼 수 있지만 Slim type은 기울기가 완만하게 나타났다.

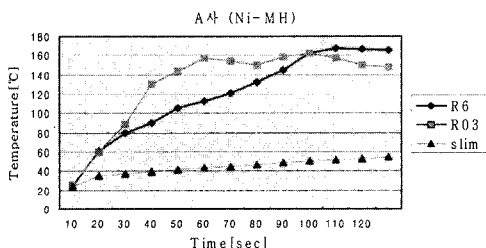


Fig. 8. Temperature rise of rechargeable cells(A Co.)

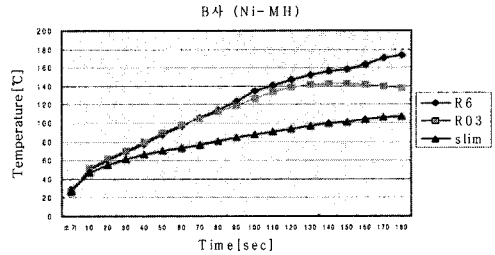


Fig. 9. Temperature rise of rechargeable cells(B Co.)

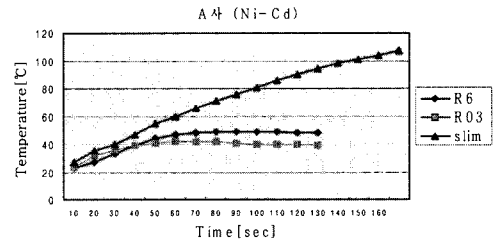


Fig. 10. Temperature rise of rechargeable cells(A Co.)

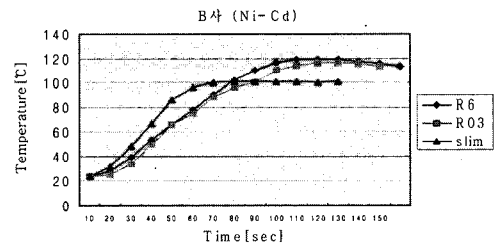


Fig. 11. Temperature rise of rechargeable cells(B Co.)

- 2) Fig. 9(B사, Ni-MH)도 Fig. 9와 비슷한 형태의 그래프를 보이고 있다.

- 3) Fig. 10(A사, Ni-Cd)은 R6 type은 계속적으로 온도가 상승하는 것을 볼 수 있었지만 R03 type과 Slim type은 R6 type과는 다른 양상을 보였다.

- 4) Fig. 11(B사, Ni-Cd)은 R6 type, R03 type, Slim type 모두가 단락이 되는 순간부터 매우 빠르게 온도가 상승하는 것을 알 수 있었다.

2차 전지를 단락시켰을 경우 단락전류에 의한 열의 발생 형상을 보기위하여 열화상장치를 사용하여 찍은 모습을 Fig. 12, 13에 나타내었다. Fig. 12, 13은 전지를 단락시킨 후 온도가 최고에 도달했을 때의 모습으로 주위온도가 25.5°C이며 전지 내부의 최고온도가 191.7°C를 보이고 있다. Fig. 12에서 그래프를 보면 곡선이 최고점을 보이는 쪽이 전지의 앞부분이다. Fig. 14, 15에서는 전지의 온도가 상승함에 따라 전지의 표면이 녹아내리고 전지의 앞부분이 파열된 모습을 볼 수 있다.

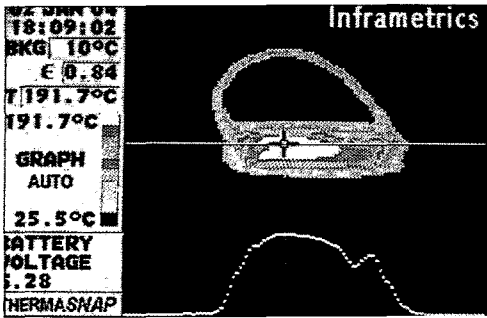


Fig. 12. Temperature rise shape of rechargeable cell (Slim type)

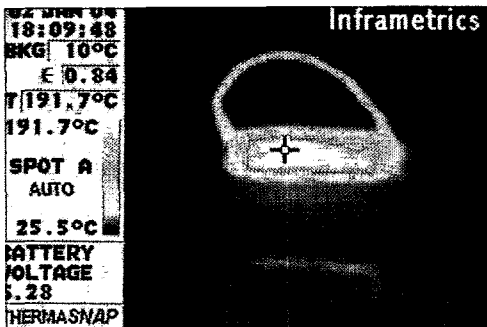


Fig. 13. Temperature rise shape of rechargeable cell (R6 type)



Fig. 14. Failure of slim type rechargeable cells due to temperature rise

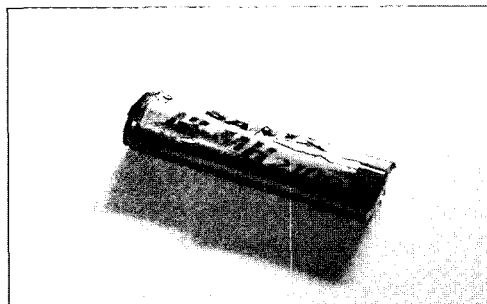


Fig. 15. Failure of R6 type rechargeable cells due to temperature rise

핸드폰 배터리는 일상주변에서 볼 수 있는 전열기 등의 열원으로부터 주위온도상승에 따른 시간 변화 값을 Fig. 16, 17에 각각 나타내었다. Fig. 16(국내), Fig. 17(국외)의 온도상승 그래프를 보면 주위의 온도상승과 핸드폰 배터리가 열을 받아 상승되는 온도가 거의 일정한 형태를 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다. 주위 온도가 약 130°C까지 상승하면 배터리(국내, 국외)의 표면이 부풀어오르기 시작하여 약 160°C정도가 되면 주위의 열을 견디지 못하고 배터리의 표면이 파열되는 것을 확인하였다. 이때 국내 배터리의 경우 Fig. 18에서 보는 것처럼 어

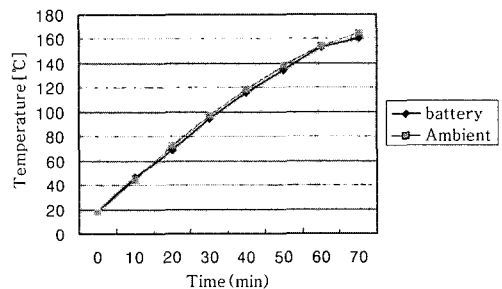


Fig. 16. Temperature rise of cellular phone battery(domestic)

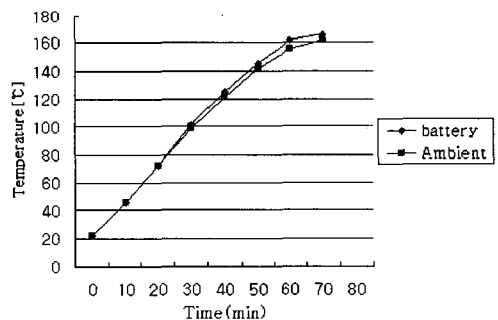


Fig. 17. Temperature rise of cellular phone battery(abroad)



Fig. 18. Failure of cellular phone battery due to temperature rise (domestic)

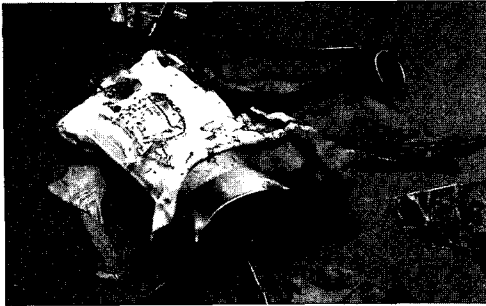


Fig. 19. Failure of cellular phone battery due to temperature rise (abroad)

는 한부분이 틈이 생겨 시커먼 연기와 내용물이 비산하였다. 즉 갑작스럽게 폭발하지는 않았지만, 국외 배터리의 경우 Fig. 19와 같이 전지가 폭발하면서 그 내용물과 파편이 심하게 비산하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

국내에 시판되고 있는 2차 전지를 대상으로 IEC 형 불꽃점화 시험장치를 사용하여 전지의 점화한계를 구하고 단락전류와 전지 자체의 온도상승 실험을 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 전지 자체의 단락전류에 의해 폭발성 가스(수소-공기 $21 \pm 2 \text{Vol.}\%$)에 점화되어지는 한계는 직렬연결 하여 사용하는 전지의 경우 최소 점화 개수가 A사의 Slim type을 제외한 나머지는 최소점화한계가 3개로 같았다. 종류별로 볼 때 니켈-수소와 니켈-카드뮴 전지는 보호회로가 내장되어 있지 않아 폭발성 가스가 존재하는 폭발위험장소에서 사고 시 안전을 보장할 수 없는 것으로 생각된다. 반면에 핸드폰 배터리(리튬-이온 전지)는 과충전, 과방전, 단자의 단락 보호 장치가 전지에 내장되어 있어 단락이 생긴 경우 전류를 차단하고 전지 자체의 온도상승을 방지하는 역할을 하고 있어 니켈-수소와 니켈-카드뮴 전지보다는 안전하다는 것을 확인할 수 있었다.

2) 전지의 단락에 의한 자체 온도 상승은 니켈-수소인 경우 최대 180°C , 니켈-카드뮴의 경우 최대

110°C 로 주위에 발화온도가 낮은 가스로 폭발성 분위기가 형성되어 있다면 매우 위험성이 있는 것으로 판단되어진다. 또한 단락이 생긴 경우 온도가 100°C 에 도달하는 시간은 빠른 경우 20초 늦어도 1분을 넘지 않는 것으로 나타났다.

3) 핸드폰 배터리의 외부 열에 대한 반응은 주위 온도의 상승과 비슷하게 상승하면서 약 $130^\circ\text{C} \sim 140^\circ\text{C}$ 정도가 되면 외형이 부풀기 시작하면서 변형이 생기고 약 160°C 정도가 되면 과열현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 2차 전지를 내장한 휴대형 전기기기를 폭발성 가스가 있는 장소에서 사용할 때는 각별히 주의하여 사용해야 하며, 이러한 전기기기를 방폭형 전기기기로 설계, 제작할 때는 기기 자체의 특성과 그에 따른 안전율을 고려하여 2차 전지를 선택하여 사용하여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 2차 전지 최신기술 및 시장동향, 전자통신동향분석, 제14권, 제6호, 1999.
- 2) Ni-MN 2차 전지의 특성과 연구동향, 전기전자재료, 제12권, 제 1호, 1999.
- 3) 이춘하 외, "안전소자를 이용한 유도회로의 점화한계 개선에 관한 연구", 산업안전학회지, 제19권, 제1호, pp. 66~71, 2004.
- 3) KS C 8519, 소형 밀폐형 납 축전지, 1999.
- 4) KS C IEC 61436, 밀폐형 충전용 Ni/MH 단전지, 2001.
- 5) KS C 8522, 밀폐형 니켈-수소 축전지, 2000.
- 6) 이춘하, 송현직, 이광식, 이동인, "건전지의 방전에 의한 폭발성 가스의 점화에 관한 실험적 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집C, pp. 1543~1546, 1994.
- 7) 이춘하 외, "본질안전방폭을 위한 폭발성 가스의 최소점화전류에 관한 연구", 한국기계연구소, pp. 14~16, 1988.
- 8) 이춘하, "건전지의 방전에 의한 수소-공기 혼합가스의 점화에 관한 연구", 湖西大學校 論文集, 第5輯, 1996.