

# 지휘소 작전지속성 보장을 위한 도파관의 전자기파 차폐성능 향상방안

## Assessment of the Electromagnetic Pulse Shield Effectiveness of the Wave-guided Below Cutoff Filled with Water and Oil for Guaranteeing the Operational Sustainment of the Command Post

윤 상 호<sup>1</sup>      손 기 영<sup>2</sup>      김 석 봉<sup>3</sup>      박 영 준<sup>3\*</sup>

Yoon, Sangho<sup>1</sup>    Son, Kiyoung<sup>2</sup>    Kim, Suk bong<sup>3</sup>    Park, Young Jun<sup>3\*</sup>

*Department of Defense Acquisition Program, Kwangwoon University, Nowon-Gu, Seoul, 139-701, Korea <sup>1</sup>*

*School of Architecture, Ulsan University, Nam-Gu, Ulsan, 680-749, Korea <sup>2</sup>*

*Department of Construction Engineering and Environmental Sciences, Korea Military Academy, Nowon-Gu, Seoul, 139-799, Korea <sup>3</sup>*

### Abstract

The stable fueling and water supply should be prerequisites to guarantee the operational sustainment of military command post. Meanwhile, in terms of the operational sustainment, it is verified that the current wave-guided below cutoff (WBC) system cannot satisfy the requirement of control associated with water supply and fueling within the command post. In this study, as the dielectric substance can block electromagnetic pulse (EMP), it was tried to identify the shielding effectiveness of the multi WBCs filled with water and diesel for attenuating the EMP effect using experiment based on the MIL STD 188-125-1. According to the experimental results, used water in the experiment show the shielding effectiveness from around 640 MHz frequency because of minerals contained in the water. Furthermore, it was noted that EMP attenuating strength of the WBC filled with diesel was enlarged from around 1,680 MHz frequency. Resultingly, it could be concluded that it is enough to supply stable water and diesel through the multi WBC to block EMP within the military command post for guaranteeing the military operations sustainment.

Keywords : multi wave-guided below cutoff, electromagnetic pulse, operational sustainment, shielding effectiveness

### 1. 서 론

본 연구에서는 방호대책이 요구되는 군 지휘시설에서 작전지속성 보장을 위한 안정적인 수자원 및 에너지자원 공급을 위한 다중형 도파관(Multi Wave-guided Below Cutoff, M-WBC)의 전자기파(Electromagnetic Pulse,

이하 EMP)에 대한 차폐성능을 평가하고자 한다.

유사시 군 지휘시설에서는 시설 외부로부터의 수자원 및 에너지자원 공급이 차단 혹은 제한된다. 따라서 군사시설 내부에는 작전기간 중 필요한 적정의 수자원 및 에너지자원이 확보되어야 한다. 하지만, 오늘날 전쟁 양상의 변화는 군 지휘시설 내부에서 최소 2주 이상의 작전지속성을 요구하고 있다[1,2,3]. 이러한 요구로 인하여 유사시에도 시설 외부로부터 내부로의 수자원 및 에너지자원 공급이 불가피하게 되었다[4].

이에 본 연구에서는 유전체 자체의 EMP 차폐 성능에 착안하여, 군 지휘시설 외부로부터 내부로 유입되는 도파관을 통한 적정의 급수/급유가 가능하도록 도파관 직경 및 유전

Received : August 7, 2013

Revision received : September 6, 2013

Accepted : September 26, 2013

\* Corresponding author : Park, Young Jun

[Tel: 82-52-258-2788, E-mail: yjpark@kma.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

체 종류에 따른 EMP 방호성능을 실험적으로 분석하였다.

## 2. 이론적 고찰

전장기능의 대부분이 전자기기에 의존하는 전자정보전 시대에서의 전쟁수행 양상은 무차별 섬멸전이 아닌 선택적 마비전이다. 이에 EMP 무기는 인명살상을 최소화 하면서 전쟁수행의 필수적 요소들을 파괴 혹은 마비시킬 수 있어 현대전의 가장 큰 잠재적 위협의 하나로 판단되어지고 있다[5].

이미 북한은 2006년 10월 지하 핵실험을 통해 EMP 공격 능력을 보유하고 있는 것으로 밝혀졌으며, 한국군도 2015년 EMP 탄의 실전배치를 목표로 연구개발에 박차를 가하고 있다. 주목할 만한 사실은 원자력연구원의 연구결과에 의하면 이러한 EMP 무기는 지구자기장의 영향을 받기 때문에 한반도 북부지역보다는 남부지역이 상대적으로 더 불리한 상황에 있다는 점이다. 또한 한국군은 북한군보다 첨단화된 전자장비를 통한 보다 발달된 무기체계를 갖추고 있어 EMP 공격에 노출 시 피해가 상대적으로 클 수밖에 없다[4,5].

이에 한국군도 EMP 방호에 대한 중요성을 인식하고 지속적인 EMP 방호에 관한 연구를 수행하여 왔으며, 현재는 상당한 수준의 EMP 방호기술을 보유하고 있다. 군 지휘시설과 같은 방호성능이 요구되는 시설에서의 방호기술은 물리적 방호, 화학방(Nuclear, Biology, & Chemistry, NBC), 방호 그리고 EMP 방호로 크게 구분된다. 일반적으로 물리적 방호가 최우선 고려사항이며, 방호시설 수준 및 목적에 따라 화학방 방호 및 EMP 방호에 대한 우선순위를 결정한다[4].

즉, 아래 Figure 1의 (a), (b), (c)형에서 보는 바와 같이 방호시설은 일차적으로 물리적 공격에 방호되어야 한다.

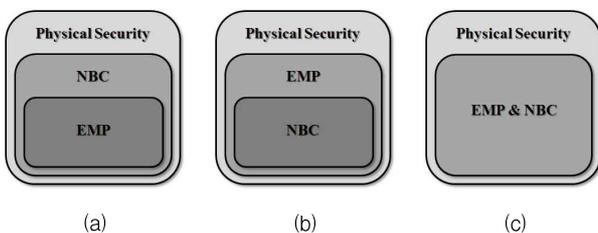


Figure 1. The protective system for the military command post

물리적 방호 하에서 (a)형의 경우는 전장장비의 보호를

(b)형의 경우는 전투원의 보호를 우선시하는 방호시설이나 최근에는 화학방 방호체계 역시 전자장비에 의존하고 있어 (c)형으로 전환되고 있는 추세이다.

(b), (c)형의 방호형태는 방호시설 내부의 전기장치 보호를 위한 EMP 차폐기술과 동시에 작전지속성 보장을 위한 안정적인 에너지 및 각종 용수 공급, 공조 및 통신설비 등이 요구된다. 중요한 점은 (b), (c)형의 방호체계의 경우 기존의 인입부에 대한 차폐시설로는 작전지속성을 보장이 제한된다는 사실이다[4].

즉, 기존의 도파관을 이용한 급수 및 급유관 인입에 따른 EMP 방호는 방호시설 내부의 전기장치에 대한 EMP 차폐에는 효과적이거나 인원에 대한 에너지 및 각종 용수 부하를 감당할 수가 없어 작전지속성 보장을 제한시킨다[3,4].

시설내부에 충분한 양의 보관이 제한되는 공기의 경우, 이미 허니콤그릴 등을 통한 급기시스템을 운영하고 있다. 이러한 특수시설은 공조시스템 설치에 따른 인입부에 대한 EMP 방호가 필수적이다. 급기장치와 같이 급수 및 급유장치도 인입부 설치에 따른 EMP 방호대책이 필수적이다. 하지만, 급기와 달리 허니콤 그릴을 작전지속성 보장을 위한 급수 및 급유 부하를 감당하는 것에 적용하는 것은 현실적인 한계가 있다.

반면, 공기와 달리 도파관이 물과 기름 등의 유전체로 일부 채워졌을 경우, 유전체 고유의 EMP 차폐 성능을 기대할 수 있다. 따라서 군 지휘시설에서 사용되는 일반적인 도파관의 환경을 제한하고 유전체를 통과시킬 경우, 허니콤그릴의 설치 없이도 충분한 EMP 방호성능을 기대할 수 있다.

## 3. 유전체의 차단주파수

자유공간에서 Figure 2와 같은 원통형 도파관의 차단 주파수는 식(1)과 같다[6,7,8].

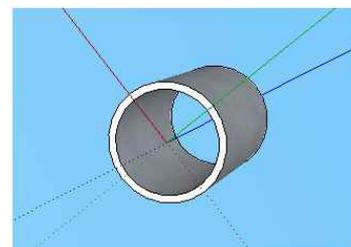


Figure 2. The cylindrical WBC

$$(f_c) = \frac{x'_{mn} \cdot C}{2\pi r} \quad \text{----- (1)}$$

여기서,  $r$ 은 도파관의 반지름,  $\mu$  는 매질의 투자율,  $\epsilon$  은 매질의 유전율을 나타낸다. 원형 도파관의 TE<sub>mn</sub>모드에서 Bessel함수를 통하여 계산한  $x'_{mn}$ 은 Table 1과 같다.

Table 1. The Results of  $X'_{mn}$

	m=0	m=1	m=2	m=3	m=4	m=5
n=1	3.8318	1.8412	3.0542	4.2012	5.3157	6.4155
n=2	7.0156	5.3315	6.7062	8.0153	9.2824	10.5199
n=3	10.1735	8.5363	9.9695	11.3459	12.6819	13.9872
n=4	13.3237	11.7060	13.1704	14.5859	15.9641	17.3129
n=5	16.4706	14.8636	16.3475	17.7888	19.1960	20.5755

일반적으로 차단주파수는  $x'_{mn}$  값 중 가장 지배적인 값  $x'_{11}=1.8412$ 를 사용한다. 자유공간에서의 전파속도는 식(2)와 같다[7,8,9,10].

$$c = \frac{3 \times 10^9}{\sqrt{\mu\epsilon}} = (m/s) \quad \text{----- (2)}$$

따라서, 반경이 12.5 cm 도파관 내에 유전체가 없을 경우,  $\mu = 1$ ,  $\epsilon = 100$ 인 공기로 충전된 경우의 차단주파수는 식(3)과 같다.

$$(f_c)_{air} = \frac{1.8414 \cdot 3 \times 10^9}{2\pi \cdot 0.125 \cdot \sqrt{100 \cdot 1}} = 703.363 \text{ MHz} \quad \text{---- (3)}$$

반면,  $\mu = 1.3 \sim 1.5$ ,  $\epsilon = 80$  인 비전리 중성수의 경우 차단 주파수는 식(4)와 같다[11,12].

$$(f_c)_{water} = \frac{1.8414 \cdot 3 \times 10^9}{2\pi \cdot 0.125 \cdot \sqrt{100 \cdot (1.3 \sim 1.5)}} = 689.704 \sim 642.079 \text{ MHz} \quad \text{--- (4)}$$

일반적으로 순수한 중성수의 경우  $\mu = 1$ 이지만, 광물질이 포함된 지하수인 비전리 중성수의 경우는  $1.3 \leq \mu \leq 1.5$  사용한다. 또한,  $\mu = 4$ ,  $\epsilon = 4.5$ 인 중유의 차단 주파수는 식(5)와 같다.

$$(f_c)_{oil} = \frac{1.8414 \cdot 3 \times 10^9}{2\pi \cdot 0.125 \cdot \sqrt{4 \cdot 4.5}} = 1,657.842 \text{ MHz} \quad \text{---- (5)}$$

#### 4. EMP 차폐성능평가

이 실험에서는 미국의 MIL-STD-188-125-1의 차폐성능 평가 기준을 적용하였다. 이 기준은 지상구조물에서 고도 전자기탄(High Altitude Electromagnetic Pulse, HEMP)의 위협을 낮추기 위해 요구되는 전자파 차단벽(시설, 장비, 설비 등)의 차폐효과를 측정하기 위한 것이다 [10].

일반적으로 차단벽을 중심으로 실험체 외부에 송신안테나가, 내부에 수신안테나가 위치한다. 차폐효과는 식(6)으로 정의된다.

$$SE = 20 \log \left[ \frac{V_c}{V_m} \right] \quad \text{----- (6)}$$

여기서,  $V_c$ 는 실험영역, 즉 송신안테나에서 측정된 신호이고,  $V_m$ 은 동일한 주파수와 안테나 분극작용에 의해 교정된 신호, 즉 수신안테나에서 측정된 신호이다. 전자파 차폐 효율 측정과정에서는 임의의 조작도 배제되며, 전기적 노이즈 장비의 사용도 철저히 통제되어야 한다. 본 실험에서 사용된 측정장비의 제원은 Table 2와 같다[13].

Table 2. The Equipment specification

Equipment name	Manufacturer	Model No.
Spectrum analyzer	Rohde & Schwarz	ESIB-40
Signal generator	Rohde & Schwarz	SMR20
Transmit-receive antenna	Electro-Merics	EM-6960
Cable	Gore	OR01R0
Interpreter	KTI	KTISE103

도파관의 관경이 EMP 차폐에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Figure 3과 같이 3개 형태의 도파관을 제작하였다. b, c형은 기준에 인입부에 설치되는 직경25cm 파이프(a형)에 대하여 내부에 5 cm, 3cm의 소형 파이프를 각각 삽입하여 허니콤그릴과 유사한 형태로 제작하였다.

제작된 도파관은 Figure 4와 같이 지면으로부터 2.9 m 상단에 설치되었으며, 차폐효율 측정을 위하여 방호실 내부 및 외부에 방호벽으로부터 각각 1.5 m 이격된 거리에 안테나를 설치하였다.

### 5. 연구결과의 고찰

Figure 5는 유전체가 충전되지 않았을 경우 (a) 도파관이 없는 자유공간과 Figure 3과 같이 (b) 개구부 직경이 25 cm, 길이가 12.5 cm인 일반적인 도파관, 이러한 도파관 내에 반경이 (c) 2.5 cm, (d) 1.5 cm 인 원형 세부 도파관이 삽입된 경우에 대한 전파감쇄량을 보여주고 있다. 실험 결과에서 보는 바와 같이 저주파 영역에서는 개구부 입경의 크기가 작을수록 전파감쇄량이 뛰어남을 알 수 있다. 특히, 자유공간인 (a)에 비해서 도파관을 설치하였을 경우인 (b), (c), (d)에 확연히 전파감쇄량이 뛰어났으며, 도파관 설치의 경우에도 도파관 내의 격실, 즉 내부 입경이 줄어들수록 전파감쇄량이 뛰어남을 확인할 수 있었다.

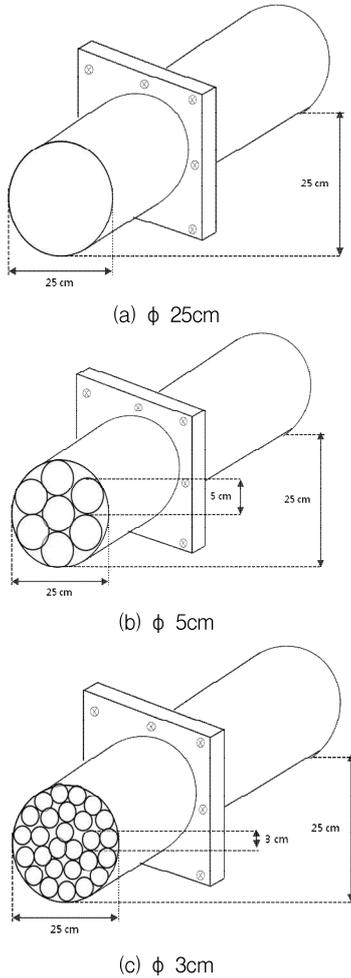


Figure 3. The type of WBC

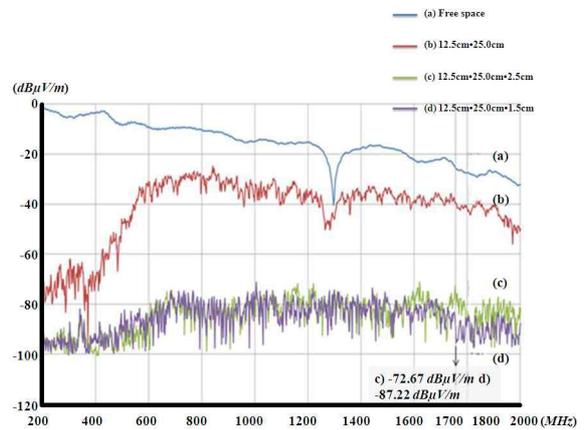


Figure 5. Case of not including a dielectric substance



(a) Outside(Transmitting antenna)



(b) Inside (receiving antenna)

Figure 4. WBC installation

Figure 6에서 458 MHz 대역 미만 저주파에서 물이나 증유 즉, 유전체 충전시 공기로 충전된 빈 공간의 조건보다 전파 감쇄량이 낮은 것은 유전체의 유전율(도전율)의 기여분에 의한 것으로 판단된다. 이는 유전율 관계식에서 나타나는 복소영역에 기인한다. 또한, 물(유전율 80)과 증유(유전율 4)의 유전율 차로 인해 전파 감쇄량에 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

다만, 순수한 물의 유전율 변화가 1,000 MHz 대역에서 급격하게 낮아지므로 전파 감쇄량 역시 해당 주파수에서 감쇄량이 증가되어야 하나, 지하수를 사용하였으므로 지하수내 함유된 광물질에 의해 위 식의 투자율이 “1” 이 아닌 “1~1.5” 정도가 되어 약 640 MHz 대역부터 감쇄량이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

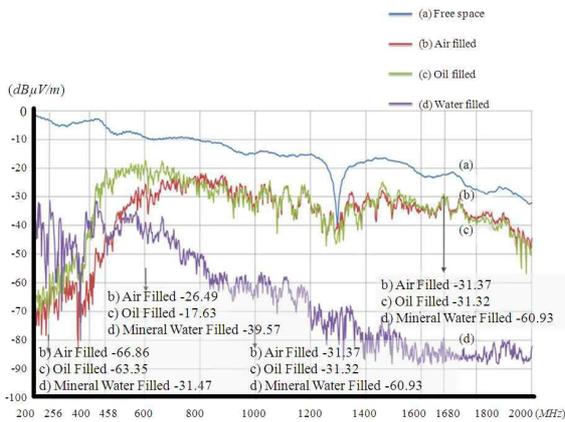


Figure 6. Attenuating strength of 25cm cylindrical WBC when filled with air, oil, or mineral water

즉, 1000 MHz에서 감쇄량을 보이지만, 이번 시험에서 사용된 물은 다양한 광물질을 포함하여 아래 식(7)과 같이 약 640 MHz부터 감쇄량을 보였다.

$$(f_c)_{11}^{TE} = \frac{x'_{11}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1.8412 \times 30 \times 10^{10}}{2 \times 3.14 \times 12.5 \sqrt{80 \times 1.5}} = 640 \text{ MHz} \quad (7)$$

주목할 점은 중유 역시 주파수 1,680 MHz 대역부터 Air filled 조건 보다 감쇄량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 유전체가 없이 공기로 채워진 하니컴 보다 유전체 충전시 높은 주파수에서는 전파 감쇄량을 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 저 주파수 대역은 하니컴의 직경 소형화로, 고 주파수의 경우는 유전체를 통해서 충분히 목표 감쇄량에 도달할 수 있다. 이는 작전지속성 보장을 위해 필요한 물과 기름에 대한 부하감당을 제시된 다중 도파관을 통해서 충분히 가능하다는 것을 의미한다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 EMP 차폐성능을 평가하기 위해, 첫째, 도파관 직경에 따른 분석으로 직경 25cm 파이프 내부에 5 cm, 3cm의 소형 파이프를 각각 삽입하여 EMP 차폐성능을 평가하였다. 둘째, 유전체의 종류(물, 중유)에 따른 전파 감쇄량을 확인 및 분석하였다.

실험 결과, 첫째, 저 주파수 대역은 하니컴의 직경이 작으면 작을수록 둘째, 고 주파수 대역에서는 순수한 물이 아닌 지하수를 활용한 본 연구에서는 640 MHz에서, 중유의 경우

는 1,680 MHz에서 목표 전파 감쇄량을 달성할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

이는 차후 군 지휘시설에서 기존의 하니컴 그릴을 통해 제한되었던 급수/급유를 다중 도파관을 통해 가능케 함으로써 향후 작전지속성 향상에 상당히 기여할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 전자기파 차폐기술은 향후 민간 분야에서도 전자 시스템에 의해 운용되는 교통, 통신, 금융, 에너지 시스템에 확대 적용될 수 있을 것이며, 특히 국가 안보차원에서 유사시 장기간 운용인원이 필요한 시설에 대해서 그 중요성이 더욱 크게 부각될 것이다.

## 요 약

유사시 군 지휘시설에서는 시설 외부로부터의 수자원 및 에너지자원 공급이 차단 혹은 제한된다. 따라서 방호시설 내부에는 작전기간 중 필요한 충분한 양의 수자원 및 에너지자원을 확보하고 있어야 한다. 하지만, 전쟁양상의 변화는 시설내부에서 최소 2주 이상의 작전지속성을 요구하고 있다. 이러한 요구로 인하여 유사시에도 시설 외부로부터 내부로의 수자원 및 에너지자원 공급이 불가피하게 되었다. 이에 본 연구에서는 유전체 자체의 EMP 차폐 성능에 착안하여, 작전지속성 보장을 위한 충분한 급수/급유가 가능한 도파관 설치를 위하여 도파관 직경 및 유전체 종류에 따른 EMP 방호성능을 실험적으로 분석하였다. 실험을 통해 다중 도파관을 통해 효과적인 EMP 차폐와 동시에 군 지휘시설 내부로의 안정적인 급수/급유가 가능함을 확인할 수 있었다.

**키워드** : 다중 도파관, 차폐성능, 전자기파, 작전지속성

## Acknowledgement

This work was supported by the 2013 Research Fund of University of Ulsan.

## References

1. Department of US Army. TM 5-855-1: Fundamentals of Protective Design (Non-nuclear). Washington DC: Department of Army Technical Manual; c1965. 455 p.

2. Kim SB, Baek SH, Lee JH, Lee SH, Baek JH, A Study on Protective Design Standards for Major Military Facilities, Seoul (Korea): Ministry of National Defense; 2012, 320 p.
3. Kim SB, Han SS, Kang YC, Baek SH, A Study for the Protective Performance of Military Facilities against Radioactive Contamination, Seoul (Korea): Korea Military Academy; 2008, 99 p.
4. Kim SB, Kim WD, Bang SK, Baek SH, Hwang HS, A Study for the Plan of Protective Facility from EMP and NBC, Seoul: Korea Military Academy; 2011, 112 p.
5. Miller CR, Electromagnetic Pulse Threats in 2010, Montgomery: US Air University; c2005, Chapter 12, Electronic circuit vulnerability to EMP; p. 385–410.
6. Angeli M, Cardeli E, Numerical Analysis of Diffracting Perforated Shields, IEEE Transactions on Magnetics, 1997;33(2):1472–5.
7. Meissner T, Wentz FJ, The Complex Dielectric Constant of Pure and Sea Water from Microwave Satellite Observations, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, 2004;42(9):1836–49.
8. Suwarno IS, Dielectric Properties of Mixtures Between Mineral Oil and Natural Ester from Palm Oil, WSEAS Transactions on Power Systems, 2008;2(3):37–46.
9. Barthel J, Bachhuber K, Buchner R, Hetzenauer H, Kleebauer M, A Computer–Controlled System of Transmission Lines for the Determination of the Complex Permittivity of Lossy Liquids between 8,5 and 90 GHz, Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie, 1991;95(8):853–9.
10. Delogne P, Leaky Feeders and Subsurface Radio Communications, London (UK): Peregrinus; 1982, p. 23–4.
11. Stoudt D, Peterkin F, Transient RF and Microwave Pulse Propagation in a Debye Medium (Water), Interaction Note, 2011;622(4):1–43.
12. Department of Defense, MIL STD 188–125–1: High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Protection for Ground–based C4I Facilities Performing Critical, Time–urgent Mission, Washington (WA): Washington DC US Department of Defense; 1994, 98 p.
13. Brown K, [Internet], Metal oxide varistor degradation; 2004 Mar 1; Cited 2013 June 12]. Laei News; [1 screen]. Available from: [http://www.iaei.org/?page=author\\_brownken&hhSearchTerms=Metal+and+oxide+and+varistor](http://www.iaei.org/?page=author_brownken&hhSearchTerms=Metal+and+oxide+and+varistor)