

<h2>HPM 기술 동향</h2>	장광희 · 한승문 · 원종효 · 김정호
	LIG넥스원 전자전연구센터

I. 서 론

1-1 HPM의 정의

HPM(High Power Microwave)은 고출력 코히어런트 방사 전자파를 일컫는 말로 집단에 따라 세부 정의에 다소 차이가 있지만, 통상 수백 MHz에서 수백 GHz 주파수 대역의 100 MW 이상의 전자파를 의미한다.^{[1]~[3]} 기술적으로는 EMP 등과 함께 HPEM(High Power Electromagnetics)에 속하고^[4], 무기 분류상으로는 DEW(Directed Energy Weapons, 지향성 에너지 무기)에 속한다^[5].

1-2 DEW로써의 HPM

전자파를 무기로 사용할 수 있다는 가능성은 1945년 미국의 첫 핵실험 시 발생한 예상을 상회하는 전자파로 인해 측정 장치들이 마비되면서 대두되었다. 1960년대 말 미국방부에서 DEW 개발 예산을 책정하면서 HPM은 고출력 레이저, CPB(Charged Particle Beam)과 함께 무기로써 개발되기 시작했다. 이 중 CPB는 대전류 전자빔 생성 기술 부재, 불안정한 공기 투과 특성 등으로 인해 1980년대 개발이 종료되었다. DEW 무기는 일반적인 고출력 장치의 특징인 크고 무겁고 복잡하며 충격과 진동에 민감하다는 특성으로 인해 아직 양산품이 나오지 않았지만, HPM과 고출력 레이저는 현재도 개발이 진행되고 있다. 고출력 레이저는 “thermal blooming”이라고 부르는

레이저 빔 궤도상의 공기가 가열되어 발생하는 빔 분산 효과로 인한 근본적 한계가 있어, 공기가 희박한 고고도용으로 주로 개발이 진행되고 있다^[5].

II. HPM 기술

2-1 HPM 무기의 효과

DEW로써 개발되어온 HPM의 무기로서의 가장 큰 특징은 ‘Non-lethal Weapon’ 즉, 비살상 무기라는 점이다. 인명에는 영향을 끼치지 않으며, 전자 부품을 손상시키거나 오동작하게 함으로써 대상 장비를 무력화한다. Hard kill은 부품의 영구 손상을 의미하는데, HPM으로 인해 유도된 전류가 기관의 금속을 녹이거나, 유도된 전압이 소자 표면에서 방전을 일으켜 발생한다. Soft kill은 트랜지스터와 같은 반도체 소자의 동작 전압 수준의 전압을 유도하여 오류를 발생시키는 것으로, PC의 경우 수 kV/m의 전압으로도 재부팅이 필요해지는 것으로 확인되었다^[6].

유도 전류의 발열 효과로 hard kill을 야기하는 것을 목적으로 하는 경우, 부품의 열전도에 의한 확산 효과를 감안하여야 한다. 100 nsec 미만의 펄스에 대해서는 열전도에 의한 확산을 무시할 수 있어 부품에 전달된 에너지가 그대로 열로 전환된다고 볼 수 있지만, 펄스 폭이 100 nsec를 넘어설 경우 확산 효과에 의한 자연 냉각으로 인해 에너지 대비 효과도가 감소하여, 100 nsec에서 1 μsec까지는 효과도가

펄스폭의 제공근에 반비례한다^[7].

2-2 HPM의 역사

HPM 생성 기술은 전자파 생성 기술과 펄스 전원 기술이 융합되어 발전했다^[1]. 1937년 처음으로 전자빔과 공진기를 이용해 전자파를 발생시킨 클라이스트론이 개발되고, 2차 세계 대전 동안 마그네트론, TWI(Traveling Wave Tube), BWO(Backward Wave Oscillator)가 개발되면서 전자파 발생 장치들이 다양화되었다. 1960년대 펄스 전원 기술이 도입되면서 1 MV, 10 kA를 상회하는 전력을 이용할 수 있게 되어 진공 튜브를 이용한 HPM 발생장치의 출력은 급격히 증가하였고, 1992년 미 해군연구소에서는 RKA(Relativistic Klystron Amplifier)를 이용해 15 GW의 HPM을 발생시키는데 성공하였다^[8].

2-3 HPM 무기 개발 사례: Ranets-E(구 소련)

초기 HPM 무기 개발 수준이 미국보다 앞서 있었던 구소련은 통신장비 및 레이더를 무력화할 수 있는 HPM 무기 개발에 성공하였다. 구소련에서 개발된 초기 HPM 무기는 3개의 트럭에 각 구성요소가 탑재된 형태로 구성되었다. 이 무기는 1 GW의 전자기파를 방사시키며, 유효 거리는 반경 1 km이다. 이 무기는 항공 장비 및 대공 미사일, 전술 미사일 및 기타 폭탄 등을 무력화시킬 수 있다. 구소련의 연구를 발판으로 한 현재 러시아의 HPM 기술은 미국과 동등하거나 약간 뒤쳐진 것으로 여겨지고 있다.

2001년 11월에 러시아 Rosoboron사에서는 Ranets-E라 불리는 모바일형 HPM 장치를 선보였으며, 이는 반경 10 km 이내의 전자 장비를 무력화시킬 수 있다. 좌우 360도, 상하 0~60도 회전하면서 유도 무기에 전자기파를 조사해 무력화시킬 수 있다. 이 무기는 안테나-고출력 RF 전원-제어시스템으로 구성되어 있고, 고정형 및 이동형의 두 가지 모델이 있다. 출력 전자기파는 센티미터 파장 수준의 주파수 대역을 가



[그림 1] Ranets-E

지며, 500 MW 출력의 펄스 폭은 10~20 nsec이다^[9].

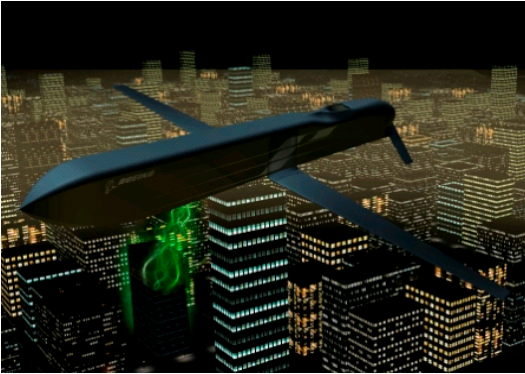
2-4 HPM 무기 개발 사례: CHAMP(미국)

고출력 전자파에 의한 공기 절연 파괴로 사거리가 제한되고, 대구경 안테나가 필요하다는 문제가 있어, 미국에서의 HPM은 센서나 항법 유도 장치의 손상을 목적으로 하는 무기의 개발이나 ADS(Active Denial System) 개발 등 저출력 응용 장치 기술로 재조명되고 있었다. 그러나 2009년 HPM 무기 개발 과제인 CHAMP(Counter-electronics High power microwave Advanced Missile Project)^[10]를 시작한 미 공군과 보잉사가 2012년 성공을 발표하여^{[11][12]} HPM 무기의 구현 가능성을 다시 보여주었다.

2-5 HPM 무기 개발 사례: HPM 폭탄(미국)

1991년 걸프전쟁 시 미국은 F-117이라는 전술 미사일에 전자파 발생장치를 탑재하여 사용하였으며, 미사일이 폭발한 후 이라크군의 전자 장비들이 불능 상태에 빠지게 되었다. 이는 미국이 전자파 무기 개발에 가장 앞서 있으며, 실제 전쟁에서 전력화가 가능하다는 것을 보인 사례다. 이후 HPM 장비들은 무기체계에 응용되도록 개발되어 왔다^{[13][14]}.

미국은 HPM 장치의 개발뿐만 아니라, 이를 유도 무기 체계나 폭탄의 형태로 응용이 가능하도록 연구했으며, 미국 Texas Tech University에서는 탄두에 탑



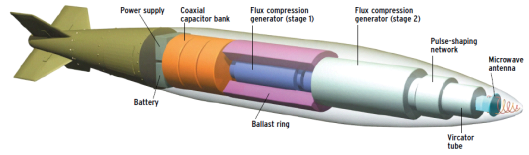
[그림 2] CHAMP

재하여 상공에서 투하가 가능한 HPM 폭탄을 개발하였다^[15]. HPM 폭탄은 외부 전원이 필요한 HPM 장치와 달리 화약에 저장되어 있는 에너지를 사용하여 고출력의 전자기파를 얻어낼 수 있다^{[2],[16]}. 이 장치는 화약에너지를 전기에너지로 변환하는 EPP(Explosive Pulsed Power)를 사용하는데, 배터리에 비해 에너지 밀도가 매우 높고, 누설 없이 장기간 보존이 가능하다는 장점이 있다. 전체적인 구조가 간단하기 때문에 장치의 소형화(compact) 및 이동(mobile)이 가능해지고, 적용할 수 있는 무기 체계가 다양해진다는 장점이 있다.

화약 에너지를 사용하기 때문에 사용이 1회로 제한되어 있고, 폭발에 의해 장치 회수가 불가능하기 때문에 높은 효율/고가의 RF 발생기를 사용할 수 없다. 따라서 출력이 제한되는 단점이 있지만, 탑재 체계에 따라 타겟의 근접거리에서 전자파 방사가 가능하기 때문에 출력 에너지가 낮더라도 충분히 효과적이다.

Ⅲ. HPM 기술의 추세와 방향

이러한 HPM 기술의 가장 핵심적인 부분은 소스 부분이다. 그래서 HPM의 개발 현황 및 추세라는 것 또한 소스 개발의 현황과 가장 크게 맞물려 진행된



[그림 3] HPM 폭탄

다. 즉, 고출력 소스의 개발이 HPM의 견인차 역할을 하게 된다는 것이다.

설계의 측면에서 보았을 때, HPM 소스 설계에는 다양한 Numerical Simulator들을 사용한다. 크기는 전자총을 위한 도구들, 전자빔이 없는 상황에 대한 설계 도구, 전자빔과 상호작용에 대한 설계도구로 나눌 수 있다. 이에 사용되는 상용 도구들은 EGUN, OPERA3D, HFSS, CST-MWS, MAGIC, VSIM 등이 대표적이다. 현재까지는 전제 시스템을 모사하여 성능 예측을 할 수 있는 Simulator가 개발되어 있는 상황은 아니며, 모듈별 설계를 수행한다. 가장 중요한 부분은 전자빔과의 상호작용을 위한 Simulator이며, 이 부분은 아직도 개선이 많이 필요한 상황에 있으며, 최근 고주파 소스 설계에 대한 요구의 증가에 따라 해결해야할 숙제가 많아진 상황이다. 고주파 소스 설계는 상대적으로 대형 구조를 해석해 내야 하는 것이 도구의 당면 문제이다. 선진국에서는 내부 개발 코드를 사용하여 해결하고 있으며, 국내에서도 고주파 HPM 소스 개발을 위해서는 관련 코드의 개발이 시급한 상황이다.

HPM 체계는 출력의 향상을 위해 필연적으로 부피의 증가를 피하기 어려운 상황에 있다. 이를 그대로 방치하기에는 부피 자체의 문제 및 운용 측면에서 매우 불리하기 때문에 그 부피의 축소를 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 한편, HPM에서도 밀리미터파 대역까지의 고주파 쪽에 대한 연구도 진행되고 있는데, 이러한 고주파로의 전향을 통해서도 부피 축소를 위한 연구가 병행되고 있다. HPM용 펄스 전원 장치 역시 부피 축소를 위한 연구가 진행되고 있

으며, 이를 위해 전원의 효율을 높이는 연구가 진행 중이다. 현재 무기로서의 HPM을 위한 전원에 대한 가이드라인으로는 수십 GW 수준의 출력을 발생시킬 수 있으면서 300 kg, 0.3 m² 수준 이하를 사용하여야 무기로의 적용 가능하다고 할 수 있다. 현재 기술 수준은 응용 가능한 출력 수준과 적용 가능한 무게 및 부피간의 괴리를 충분히 극복하였다고 보기는 어려운 상황이며, 향후 해결해 나가야할 문제이다.

효과도의 측면에서 단순한 출력증가에 대한 연구 뿐 아니라, 여러 가지 환경에 적합한 효과에 대한 연구가 진행 중이며, 최근 대생체 효과 연구도 추가되어 진행되고 있다. 이는 HPM의 발전에 따라 다양하게 HPM을 적용하기 위한 연구 흐름이며, 대생체 연구 또한 그 연장선에 있다. 물론, 이러한 흐름에 따라 각종 매질과 구조물 및 생체에 대한 연구를 정확하고 효과적으로 진행하기 위한 연구 용역 및 시험시설의 발전도 병행되고 있다. 선진국에서는 ‘Non-lethal Weapon’의 제목으로 십 수 년 간에 걸쳐 성공적인 사례들을 만들어 내고 있으며, 국내에서도 엘아이디 넥스원에서 관련 응용연구를 진행 중에 있다. 물론, 현재의 기초적인 연구과정을 거쳐 향후에는 실전에 적용이 가능한 체계로의 발전이 필요하다.

추가적으로 HPM의 군사적 응용 이외의 용도로의 사용에 대한 연구가 진행되고 있다. 이는 이전에 고출력 달성 자체가 불가해서 고려되지 않았던 연구영

역들이 HPM 소스의 성공과 더불어 그 가능성이 보이기 시작했기 때문이다. 예를 들어 무선 전력 전송, 각종 운항장치의 장거리 무선 제어 등이 그러한 적용 예이다.

IV. 정 리

HPM 기술은 단지 전장에서 살상을 위주로 사용하기 위한 것이 아니라, 상대국가의 전술 및 전략 항공기, 미사일 등의 각종 무기 체계를 무력화시키거나 파괴시키는 무기 체계에 응용될 수 있다. 이런 HPM 기술은 최근 소스의 발전과 더불어 가까운 미래에 실전 배치될 가능성이 매우 높은 것으로 전망하고 있다. 이와 관련하여 HPM 효과도 기술 및 HPM의 기술을 무기체계가 아닌 여러 분야에 적용하는 연구들도 가능성이 있어, 다방면의 연구가 필요해지는 실정이라 하겠다.

한편, 이러한 HPM 기술은 군사 보안 관련 내용에 속하기 때문에, 선진국의 개발 현황을 정확하게 파악하기에는 한계가 있는 영역이다. 수집 가능한 정보 및 관련 분야 연구 경력을 바탕으로 현황에 대한 자료를 기반으로 작성하였으나, 현재 작성하는 내용이 실제 최첨단 기술이 아닐 가능성이 있다는 것이다. 다만 수집 가능한 수준의 자료에 나타나는 현황을 정리하고, 관련한 사람들에게서 관심을 유치하며, 국내 개발을 독려하는 것이 이 글의 목적이겠다.

참 고 문 헌

- [1] J. Benford, J. A. Swegle, and E. Schamiloglu, *High Power Microwaves*, Second Edition. CRC Press, 2007.
- [2] M. Abrams, "Dawn of the E-bomb", *IEEE Spectrum*, vol. 40, no. 11, pp. 24-30, 2003.
- [3] J. Barker, E. Schamiloglu, *High-Power Microwave*



[그림 4] 비살상 대인 무력화 무기

- Sources and Technologies*, New York: IEEE Press, 2001.
- [4] W. A. Radasky, C. E. Baum, and M. W. Wik, "Introduction to the special issue on high-power electromagnetics (HPEM) and intentional electromagnetic interference (IEMI)", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, no. 3, pp. 314-321, 2004.
- [5] E. Zimet, C. Mann, *Directed Energy Weapons - Are we there yet? The Future of DEW Systems and Barriers to Success*, National Defense University, 2009.
- [6] R. Hoad, N. J. Carter, D. Herke, and S. P. Watkins, "Trends in EM susceptibility of IT equipment", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, no. 3, pp. 390-395, 2004.
- [7] C. Möller, "High power microwave sources: design and experiments", dissertation, KTH, 2011.
- [8] M. Friedman, V. Serlin, "Present and future developments of high-power relativistic Klystron amplifiers", *Proc. of SPIE-The Inter. Soc. for Optical Eng.*, vol. 1629, pp. 2-7, 1992.
- [9] C. Kopp, "Russian/Soviet point defence weapons", *Technical Report APA-TR-2088-0502*, May 2008.
- [10] M. Gunzinger, C. Dougherty, "Changing the game: the promise of directed-energy weapons", *Center for Strategic and Budgetary Assessments*, 2012.
- [11] "Boeing conducts first tests of high power microwave (HPM) missile," *Defense Update - Military Technology & Defense News*, 2011.
- [12] "Non-kinetic missile records 1st operational test flight", *Boeing*, 2012.
- [13] E. Schamiloglu, "High power microwave sources and applications", *Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International*, 6-11 Volume: 2, pp. 1001-1004, 2004.
- [14] S. Korovin, S. D. Rostov etc, "Pulsed power-driven high-power microwave sources", *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, issue 7, pp.1082-1095, 2004.
- [15] L. L. Altgilbers, J. Baird, B. L. Freeman, C. S. Lynch, and S. I. Shkuratov, "Explosive pulsed power", *World Scientific*, 2010.
- [16] L. L. Altgilbers, "Recent advances in explosive pulsed power", *Electromagnetic Phenomena*, vol. 3, no. 4, pp. 497-520, 2003.

≡ 필자소개 ≡

장 광 희



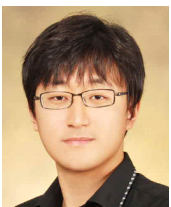
1985년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1985년~현재: 엘아이지텍스원 재직
2011년~현재: 엘아이지텍스원 전자전
연구센터 센터장

원 종 효



2009년: 서울대학교 물리천문학부 (이학
박사)
2009년~현재: 엘아이지텍스원 전자전연
구센터 선임연구원

한 승 문



2013년: 인하대학교 전기공학과 (공학박
사)
2013년~현재: 엘아이지텍스원 전자전
연구센터 선임연구원

김 정 호



2010년: 포항공과대학교 물리학과 (이학
박사)
2011년~현재: 엘아이지텍스원 전자전연
구센터 선임연구원