

EML에 관한 기술현황 및 Linear Induction Laucher 기술의 발달

김 기 봉*

(*삼성전기(주) 모타연구실 선임연구원)

1. 서 론

EML이란 Electro Magnetic Launcher, 즉 전 자력 발사기의 영어 약칭이며, 전자기 에너지를 가 동물체(projectile)에 전달하여 이를 기계적인 운동 에너지로 변환시켜주기위한 특수한 Linear Motor 들을 일컫는 말이다.

물체를 발사시키는 방법으로서는 고대로 부터 여 러가지 형태를 사용해 왔는데 화약을 발명한 이후 부터는 화약폭발때의 반작용이나 압력을 이용하는 방법을 오랫동안 가장 많이 사용하여 왔다. 19세기 말인 1890년경 전기에너지를 인류가 생산, 사용할 수 있게 된 이후, 화약에 의한방식을 대신하거나 특 수환경 또는 특수목적에 이용할 목적으로, 물체발 사에 전기에너지를 이용하는방법이 연구되기 시작 했다. 잠수함 이나 지하시설에서는 화약을 폭발시 키는것보다 전기에너지를 이용하는것이 효과적이며, 우주정거장에서 소형위성을 발사하거나 탱크나 대포에서 포탄을 발사하는데 EML이라는 linear motor 장치를 이용하면, 발사체만 구동시키면 되므로 연료와 산소를 싣고갈 필요가 없고 전기충전만 되면 계속해서 반복사용할수 있는 등, 여러가지로 효과적 일것이다. 이러한 이유로 해서 미국의 국방성 관련 project외에 NASA와 관련된 project들도 진행되고 있다.

본문에서는 EML의 역사, 종류와 대강에 대해 설명하고, 필자가 미국에서 직접 연구에 참여한

linear induction type coil gun에 대해 간단히 언 급하기로 한다.

2. 발 전

EML의 발명은 노르웨이의 물리학자 Kristian Birkeland가 1901년 9월 그의 첫 특허로 Electro-magnetic Cannon(전자포)를 등록하면서이다.

그로서는 EML연구가 없었다면 질소의 고정 이 나 천체물리에 관해 연구한 사람으로서만 알려졌을 것이다. Birkeland 의 첫번째 발사기는 0.5kg의 물 체를 초속 80m로 가속시키는데 성공하였다. 이듬 해인 1902년, 그는 두번째 EML로 500 kg 의 물체 를 초속 수백 m의 속도로 발사 시키기 위하여 설계 하였으나 전원공급장치가 파괴되므로 실현되지 못 하였다[4]. Birkeland 이후 제2차 세계대전이 일어 나기 전까지 약 45건의 EML 특허가 나왔다. 제2 차 세계대전동안 무기에 이용할 목적으로 주로 독 일, 미국, 일본 등지에서 활발히 연구되었다. 한에 로 1940년 독일은 70m길이의 electro-magnetic gun을 개발하였다. 전후, 미국의 Westinghouse사 는 470m길이의 항공기 이륙장치(Electropult)를 1946년에 개발하였다[5].

그러나 제2차 세계대전이 끝난뒤 무기로써의 개 발동기가 많이 사라지고, 에너지 축적에 관한 기술, 재료문제, Switching문제 등의 기술적 한계에 부딪혀 연구가 침체되었다. 그러나 80년대 들어 새로

운 전력소자 나 반도체 등이 많이 등장하였고 computer 등의 제어기술이 발달함에 따라 실용이 가능할 정도로 큰 projectile을 사용하여 초고속을 실현하게 되었고 80년대에 시작된 미국의 star wars project와 관련하여 급속히 연구가 활성화되었다. 최근에는 거의 해마다 IEEE magnetics society를 중심으로한 EML conference 가 미국에서 열리고 있으며 EML 연구논문을 발표하고 있는 국가는 미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본, 이스라엘, 이태리, 네델란드, 스웨덴 등이다. 한편 이 conference에 참여는 않고 있으나, 구 소련의 과학자들이 이루어 놓은 EML에 대한 업적은 실로 대단하다[7].

에너지 이용 기술도 높아져서, 요즘에는 mega volts, mega amperes, tera watts급의 에너지를 다루고 있다. Rail Gun을 연구하고 있는 미국 Texas Univ. at Austin의 경우 2.73 Mega Ampere, 3.9 Mega Joule의 에너지를 사용하고[6] Linear Induction type Coil Gun을 연구하고 있는 미국 New York polytechnic Univ.의 경우에는 Linear Induction Motor의 stator coil에 최고 17kV의 고전압을 인가하여 순간 방전시키고 있다.

현재 진행되고 있는 EML연구의 목표는 전자기 힘을 이용하여 물체를 극초음속의 영역으로 가속시키는데 있다. 극초음속이란 광범위한 개념이나, 미국방성이 전개하고 있는 EML program에서는 (1) 대포 등에 이용할 목적으로 100kg급의 물체를 1km/sec 이상의 속도, (2) 미사일이나 항공기를 요격하기 위한 목적으로 0.1kg급의 물체를 최대 5km/sec 정도의 속도 (3) 우주궤도에서의 위성발사 또는 대륙간 탄도탄의 요격을 위한 1kg 정도의 물체를 8km/sec 이상의 속도 등으로 구분하고 있다.

3. EML의 종류별 동작원리

EML의 종류를 크게 구분하면 (1) electro-magnetic rail gun (2) electro-magnetic coil gun (3) electro-static gun[1] (4) electro-thermal gun으로 분류한다. 한편으로는 이러한 것중에서 몇가지 형태를 중복시켜 사용하는 경우도 있다. 4가지로 대별한 각각의 EML은 다시 형태나 동작방법에 따라 세분되어진다.

3.1 Electromagnetic Rail Gun

Rail gun은 직류전원과 연결된 한쌍의 rail 위에 가동자인 projectile을 얹고 rail에 전류를 흘리면 projectile의 brush를 통하여 projectile에 전류가 흐르게 된다. 이 전류는 rail아래에 설치된 coil로부터 발생된 강력한 자계와 직각으로 쇄교하게 되어 힘을 발생하게 된다. 이러한 rail gun의 기본구조는 그림 1에 나타난 바와 같으며 pulsed power를 얻기 위하여 capacitor를 사용하는 방식을 주로 사용한다. Rail 아래에 설치된 coil에 의해서 발생된 자속의 자속밀도를 B라고 하고 rail에 인가된 전류밀도를 J라고 하면 $F=J \times B$ 라고 하는 힘이 발생하고, 이 힘에 의해 projectile은 추진되게 된다.

이러한 방식의 구동은 저에너지의 경우 에너지 전달 효율(energy transfer ratio)이 높아, 고속 구동이 쉽다. 그러나 속도가 어느 한계 이상 커지면 Lorentz effect에 의한 부작용이 커지고 접촉면에서 plasma가 생겨서 에너지 전달 효율이 급격히 감소한다. 따라서 어느 정도 선에서 한계 속도를 가지게 된다. 그러나 1989년 부터 발표된 plasma-armature rail gun은 기존의 rail gun형태와 plasma의 압력을 이용한 복합적인 형태로써, 현재 이분야의 연구가 활발 하며 속도면에서 성과가 기대된다.

현재, 이러한 rail gun의 연구는 미국 Texas Univ. at Austin, Picatinny Arsenal(NJ), Lawrence Livermore National Laboratory(CA), Institute of Space and Astronautical Science (Japan), Westinghouse S.T.Center 등에서 주로 이루어지고 있다.

3.2 Electromagnetic Coil Gun

Coil gun이란 tubular coil의 array를 drive coil

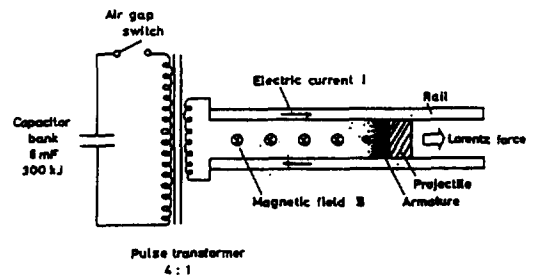


그림 1. Rail gun의 구조도



그림 2. coil gun의 drive coil과 projectile

(stator)로 하여 그 array 가운데에 보통, aluminium으로된 projectile을 두고 drive coil에 전류를 흘려 자계를 만들고 projectile 전류와의 상호작용에 의해 추진력이 생긴다. 따라서 coil gun이란 tubular type linear motor의 한 응용형태로 이해될 수 있다. 에너지 공급방식에 따라 (1) single-stage coil gun (2) multi-stage coil gun (3) generator-driven coil gun (4) capacitor-driven coil gun 등으로 구분 된다. Projectile의 전류는 비접촉 방식 이므로 induction에 의한 전류를 이용하는데 기본적인 구동형태는 그림 2와 같다.

Rail gun의 projectile이 항상 두개의 평행한 rail과 접촉하여 energy를 공급 받는데 비해서 coil gun은 원통형 coil 속을 지나면서 원형 코일의 전 방향으로부터 작용하는 힘을 받아 추진된다. 원형 코일에 의해 projectile의 원주에 작용하는 힘은, 평형인 경우 radial component와 axial component로 분할되는데, 이 중에서 axial component의 힘에 의해 projectile은 추진하게 된다. 또한 projectile의 수평축이 barrel의 수평축과 일치하면, radial component의 힘은 중심점에 대해 평형을 이루고 있으므로 projectile은 barrel로 부터의 기계적 마찰이 없이 추진될 수 있다. 따라서 이론적 한계속도는 없다.

이러한 방식을 연구하고 있는 곳으로는 New York Polytechnic University, Sandia National Laboratory (NM), Texas University at Austin, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble (France) 등이 있다.

3.3 Electro-static Gun

이 방식은 1970년대 초부터 미국의 LLNL(Lawrence Livermore National Laboratory)에서 연구해온 것으로써 그 구조는 그림 3과 같다.

전기적으로 폭발하는 얇은 금속박막체(drive) 위에 얇은 전기 분극물질(projectile)을 두고 있으며, 금속박막체가 폭발할때 발생하는 편형 충격파에 의해 projectile인 분극물질은 순간적인 높은 압력을 받아 추진 되게 된다.

폭발성 도체(exploding conductor)란 과전류 보호에 쓰이는 전기 fuse와 같이 어떤 전기적 상황에서 그 물질이 급격히 폭발되는 성질을 가진것을 말한다. 에너지는 외부에서 condenser를 사용하여 순간 방전시키며 그림에 나타난 동도체는 폭이 0.46mm이며 두께가 0.25mm이다. Foil의 재질은 주로 aluminium이 쓰인다. 동선에 전류를 흘릴때 이 aluminium foil이 폭발하는데 foil의 크기는 30.5cm²의 면적에 두께 0.051mm이다.

LLNL에서 실험한 바에 따르면[9] 56- μ F의 capacitor에 40-kV의 전압을 가하고 회로의 인덕턴스가 40에서 50nH인 경우, 직경 25.4mm, 두께 0.25mm인 projectile(Mylar-Kapton dielectric material)은 6km/sec의 속도에 도달하였다. 이 연구소에서는 이러한 방식에 의하여 40-kV의 전압에 의하여 14km/sec의 속도가 가능하고 100-kV의 전압에서 20 내지 30km/sec의 속도가 가능하다고 보고하고 있다.

최근의 보고에서는[1] 1MJ의 에너지로서 폭발면적이 930cm²이고 최고 순간속도 18km/sec를 이루고 있다.

3.4 Electro-thermal Gun

Thermal gun은 plasma를 발생시키는 gas를 넣

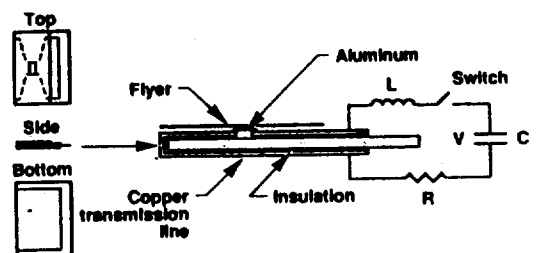


그림 3. electro-static gun의 구조도

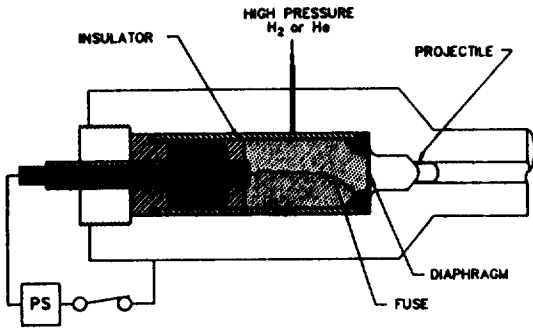


그림 4. H₂ gas를 사용한 electro-thermal gun의 구조

은 barrel 속에 projectile을 넣고, barrel속의 전극을 통해 gas를 폭발시키면 강한 plasma가 발생하며 이때의 압력에 의해 추진되도록한 장치이다. 이러한 원리의 EML은 Picatinny Arsenal(NJ), Sandia National Laboratory(NM), Science Applications International Corporation(CA), GT-Devices, Inc.(VA) 등에서 연구되고 있다.

앞서의 rail gun에서 설명한 바와같은 plasma-rail gun은 projectile이 추진될 때 발생하는 plasma를 추진력에 이용한 것으로서 rail gun과 thermal gun의 복합형태로 볼수 있다.

그림 4는 미국 Virginia에 있는 GT-Devices, Inc.에서 개발한 헬륨가스를 사용한 thermal gun의 chamber 구조를 보여주고 있다.

4. COIL GUNS

앞에서 설명된 여러종류의 EML 가운데서, Coil

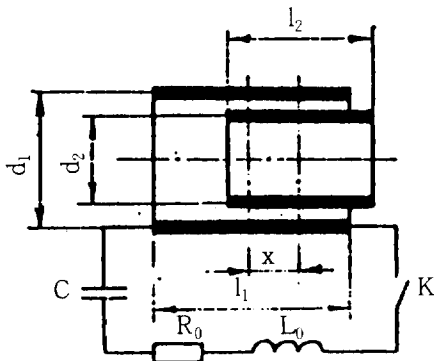


그림 5. Single stage coil gun

gun에 관해 좀더 자세히 설명하기로 한다.

4.1 Single-stage coil gun

이것은 가장 간단한 구조의 coil gun으로써, 한 개의 drive coil과 한개의 projectile coil로써 이루어져 있으며 그 구조는 그림 5와 같다.

이러한 형태는 장난감용으로 이용되기도 하며, 최고속도는 1977년 소련의 V.N. Bondaletov가 1.03grm짜리 projectile으로 45kV의 전압을 가하여 4.9(km/sec)의 속도로 추진시킨 기록이 있다[7].

4.2 Multi-Stage Coil Gun

이는 single-stage coil gun의 개량형으로써, 몇 개의 drive coil을 연결한 원통사이로 한개의 projectile coil을 움직이게 한것으로써, projectile이 각각의 drive coil에 도달하면 해당하는 drive coil을 순차적으로 energizing 하는 방법이다. Projectile이 도달한 위치의 최적 drive coil을 energizing 시켜야 하므로 projectile의 position sensing device가 필수적이다. Sensor로는 보통 optic이나 laser를 많이 사용한다. 미국 Sandia Laboratory가 개발한 synchronous type coil gun은 이러한 개념을 사용 하여, projectile의 위치를 감지하여 그 위치에 있는 drive coil 들에만 전류를 흘리는 방법으로 계속 projectile을 추진 되도록 한다.

4.3 Generator-driven induction Coil Gun

이는 Texas university, Austin campus의 Driga에 의해 제안된 것으로 Tubular type Linear

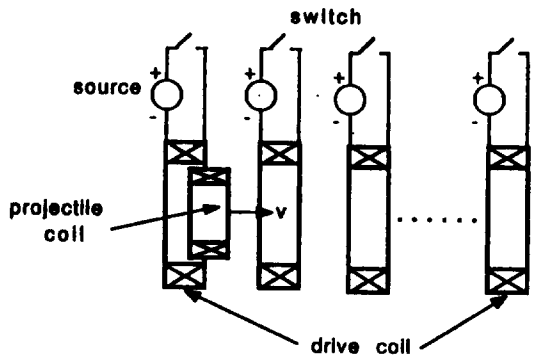


그림 6. Multi-stage coil gun

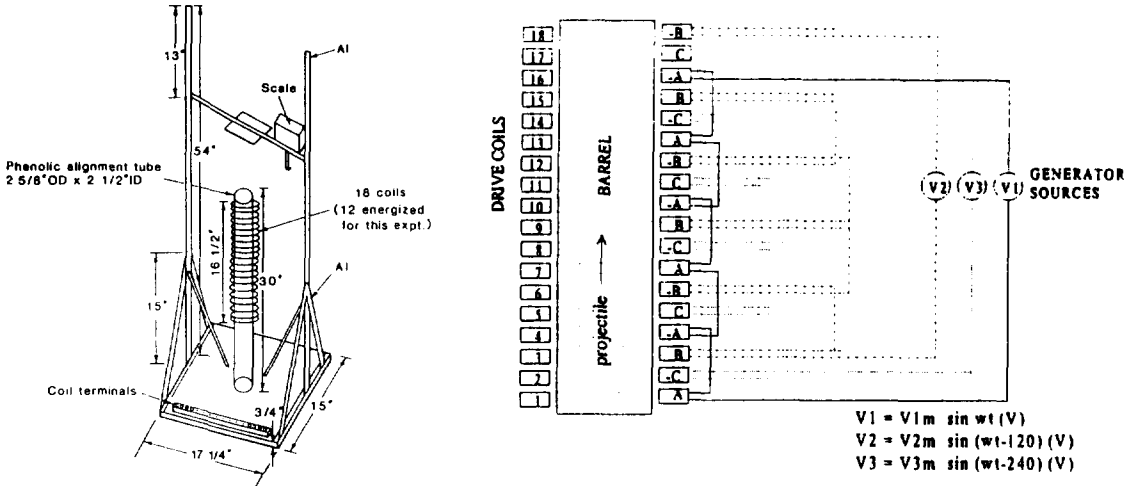


그림 7. EML-1의 Sketch 및 구조도

induction motor의 원리를 그대로 이용하여 고정된 drive coil의 전원으로써 정전압원인 발전기 또는 상용 전원을 사용한다. Projectile에 흐르는 전류는 유도전류이며 단위 section에 있는 drive coil 전체가 동시에 energizing되어 이동자계를 만든다.

그림 7은 한 예로써 N.Y Polytechnic Univ.의 EML-1 model을 나타낸다.

전항에서 설명한 동기형 launcher의 경우 초고속으로 이동하는 물체의 위치를 정확히 감지한다는 것이 쉬운일이 아니며 또한 전류의 과도 현상이 있어 정확히 동기시키기가 매우 어렵다. 이에 비해 induction type은 비동기에서도 이동자계가 형성되어 projectile은 추진되는 것이 최대의 장점이다. 최적 위치에서 해당 section을 energizing할 때 최대 효율, 즉 최대 속도, 를 얻는다는 사실은 분명하나 최적 위치가 아니라고 해도 projectile은 비슷한 탈출속도를 가지고 추진된다.

4.4 Capacitor-driven Coil Gun

초고속의 EML에서 projectile이 Barrel안을 진행하는데 소요되는 시간은 보통 1~2(m sec)이다. 따라서 동작시 필요한 에너지의 형태는 pulse파이며, 이러한 Pulsed power를 얻기위해 에너지를 capacitor bank에 저장 하였다가 발사시에 순간적으로 방출하는 방법을 말하는데, 최근의 EML은 대부분 이 방법을 사용 하고 있다. 이동자계를 얻기

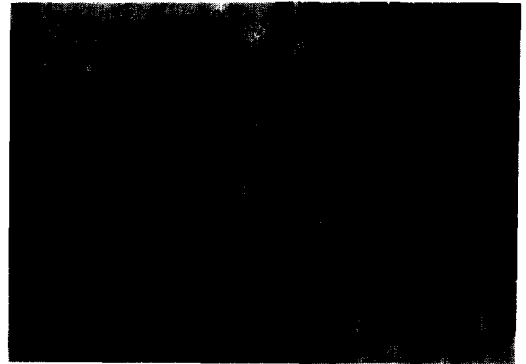


그림 8. EML-3 model의 사진

위하여 3개의 capacitor bank를 사용하여 capacitor의 C(μ F) drive coil의 L(mH)에 의해 LC공진이 생기고, 각상의 ignition time을 조정함으로써 3상 교류가 발생한다.

그림 8은 induction type capacitor-driven coil gun인 N.Y. Polytechnic Univ.의 EML-3 model을 나타낸다.

5. LIL(Linear Induction type Electromagnetic Launcher)

이 장에서는 앞서 다른 capacitor-driven coil gun가운데서, induction type인 LIL의 기술적 사항에 대하여 좀더 자세히 언급하고자 한다.

5.1 구조

그림 9는 3 phase, 2 section, linear induction launcher인 EML-3의 기본구조이다. Projectile은 길이 20cm, 두께 1.65~2.0mm, 직경 2inch인 aluminium tube를 사용하며 drive coil의 pole pitch는 10cm이다. 따라서, Projectile은 2pole pitch의 길이에 해당한다.

Spectification의 한 예는 표 1과 같다.

표 1. EML-3의 Spectification

	coil #	voltage	length	frequency	syn. speed	max. speed
1 section	6	4 kV	20 cm	1250 Hz	250 m/s	200 m/s
2 section	12	15 kV	40 cm	2500 Hz	500 m/s	475 m/s

EML-3 model의 system 구성은 그림 10에 나타난 바와 같다.

5.2 동작

3상으로 연결된 Capacitor 직류 전압으로 충전시키면 각각의 capacitor에는 $W = \frac{1}{2} CV^2$ 의 energy가 저장되게 된다. 그림 9의 capacitor C1, C2, C3를 적절한 위상각이 생기도록 순차적으로 linear motor의 drive coil에 방전시키면 capacitor에 있는 capacitance와 drive coil이 갖는 inductance, 그리고 drive coil과 connection wires에서의 circuit resistance들이 RLC 회로를 구성하게 되고 전압과 전류는 LC공진에 의한 주파수를 갖는 감쇄진동을 하게 된다. 이렇게 만들어진 3상 교류전류는 drive coil에서 강력한 이동자계를 발생하게 된다. Projectile로는 기계적으로 강화된 aluminium

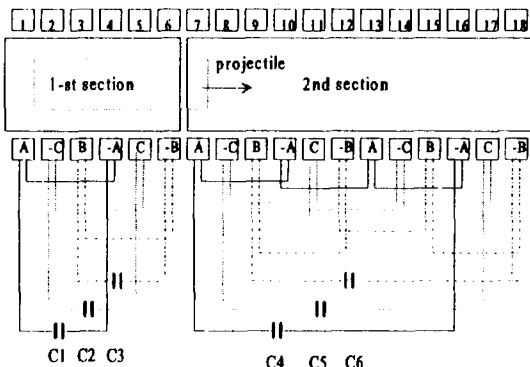


그림 9. 3상, 2단 LIL의 구조도

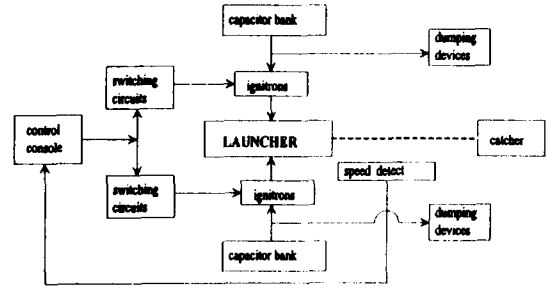


그림 10. EML-3 model의 system 구성

tube를 사용하여 drive coil에서 발생한 자계에 의해 유도전류가 흐르도록 한다. 따라서 projectile은 linear motor의 rotor의 동작을 하여 이동자계의 방향으로 추진되게 된다. 2단계 drive coil에 전류를 흘리는 시간은 미리 simulation program에서 계산된 값에 준하여 결정한다. 2단계에서 3상 이동자계가 발생하는 과정도 앞서 설명한 바와 같다.

그림 11은 1단계, 2단계의 동기속도가 각각 325m/sec, 610m/sec인 경우의 속도-추력 특성인데, 이는 일반 유도 전동기의 경우와 매우 흡사하다. 2단계에서의 동기속도는 1단계에 비해 크게 증가하였기 때문에, 2단계에 의해 추진되는 순간에는 2단계에서의 속도-추력 특성상의 slip으로 이동한다.

동기속도는 linear motor의 drive coil pole pitch를 τ , 자계의 주파수를 f 라 할때 $v = 2\tau f$ 의 식으로 나타난다. 따라서 이론적으로 가능한 최대 속도는 이 동기속도가 된다. 그러나 system이 동작하는 시

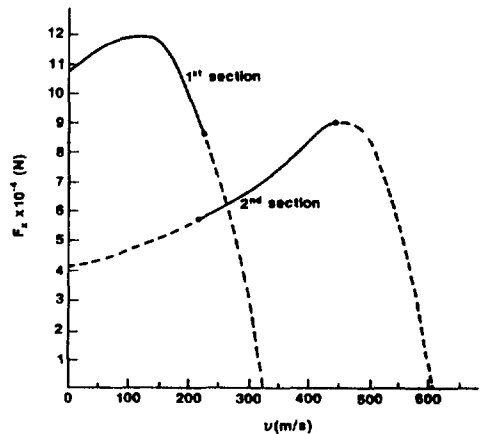


그림 11. 속도-추력 특성

간은 매우 짧고 그 시간동안은 1 내지 2개의 pulse 만 작용하므로 과도현상이 강하게 작용한다.

Pulse power에 의해 추진되는 이러한 EML은 projectile의 초기 위치가 최종 속도에 상당한 영향을 미친다. 한편, projectile이 barrel 속을 진행하는 동안 projectile의 수평축은 barrel의 수평축과 일치될수 없는 경우가 대부분이며, 이경우 축방향 작용력의 불균형에 의해 projectile은 barrel의 수평축으로 회복하려는 운동을 하는데, 이 작용력은 projectile의 수평축상의 한점에 고정되어 있지 않고 계속 이동하는데 이 운동의 모양을 2차 미분방정식의 형태로 변환하여 보면 발산하는 형태의 oscillation이 된다. 이러한 작용력의 또다른 한 분력은 spinning force로 나타나며 projectile의 spinning과 nutation의 원인이 된다[10].

6. 전망과 응용

EML은 linear motor의 한 응용형태이므로 전원 source의 성질과 motor system 구조를 어떠한 형태로 하느냐에 따라 여러가지로 응용하여 사용할 수 있다.

EML이란 초고속 또는 초음속 추진을 위하여 연구·개발된 것이며 실제로 현재의 연구·개발 상황이 초속 500~2000미터에 이르고 있다. 따라서 이러한 EML기술은 초고속 추진이 필요한 여러가지에, 즉 자기부상열차, 항공모함의 catapult등에 이용되거나 응용될 수 있다.

서론에서 언급한 바와 같이, 이제까지의 EML은 주로 군사무기에 응용되기 위하여 주로 연구되어 왔다. 1980년 이후 갑자기 미국에서 EML연구가 활발해진 배경에는 Regan 미국 대통령 이·취임하면서 발표된 미국의 새로운 개념의 방위 전략 "Star Wars" project이 있다. EML의 응용명칭으로 rail gun이나 coil gun등과 같이 gun(대포)을 사용하는 목적이 EML이라는 형태의 linear motor를 군사무기로 개발하려는 목적에서이다. New York Polytechnic University나 Texas University at Austin에 주어진 각각 250만불, 700만불의 연구자금도 미국방성에서 나온것이다. 그러나 1992년 미국 대통령이 Clinton으로 바뀌면서 Star Wars project는 상당히 축소되었고 특히 소련이 붕괴된 지금 동

서냉전의 종식으로 미국내에서부터 군사무기 개발의 필요성이 급격히 사라지고 있는것이 현실이다. 따라서 현재 진행중인 project 이외의 추가 project를 미국방성으로부터 기대하는 분위기는 크게 줄어들었다.

미국 우주선 Appolo series과정에서 얻어진 기술과 지식이 민간과학에 기여한바는 지대하였다. 또한 역사를 돌이켜보면 기술의 급격한 발달은 전쟁을 겪으면서 이루어진 경우도 많았다. EML이 최근 급격히 활발하게 된 배경이 군사전략적인 면에 있었지만 EML conference에서 발표되는 논문을 보면 EML을 통해서만 얻을 수 있는 기술들이 많이 있다. 예를들면, 초고압에서도 견딜 수 있는 coil의 박막절연기술 이나, 초고속 추진에서 발생하는 plasma의 해석, 초고속 power switching기술, 초고속 추진기술 등등이 있다. 이러한 기술의 발달은 결국 linear motor의 응용범위를 넓혀주게 될 것이다.

다음의 항목은 현재 학계에서 거론된 응용분야를 중심으로 열거한것이다.

- (1) GTO(Ground to Orbit)
- (2) 자기 부상열차
- (3) Electropult
- (4) 우주정거장에서의 위성발사
- (5) 기초물리학 연구에 필요한 강력한 충격파 발생장치
- (6) Linear Elevator

참 고 문 헌

- [1] R.S.Lee, J.E.Osher, H.H.Chau, G.Pomykal and R.D.Speer, "I MJ Eelectric Gun Facility at LLNL" IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 29, No.1, Jan. 1993.
- [2] R.S. Hawke, W.J. Nellis, G.H. Newnan, J. Rego, A.R. Susoeff, "Summary of EM Launcher Experiments Performed at LINL", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-22, Nov. 1986, pp.1510~1515.
- [3] R.S. Hawke, A.L. Brooks, F.J. Deadrick, J.K. Scudder, "Results of Railgun Experiments Powered by Magnetic Flux Compression Generators", IEEE Trans. on

Magnetics, Vol. MAG-18, Jan. 1982, pp. 82~93.

[4] A. Egeland, "Birkeland's Electromagnetic Gun; A Historical Review", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol.17, No.2, April 1989.

[5] "longest Induction Motor", Westinghouse Engineer, Vol.6, No.5, September 1946, 160~161.

[6] J.J. Hahne, R.J. Hayes, "Operating Experience with the 90mm Rail Gun at CEM-UT", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 29, No.1, Jan. 1993, pp.407~412.

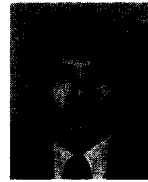
[7] V.N. Bondaletov, E.N. Ivanov, "Ultrahigh axial acceleration of conducting rings", ZHURNAL PRIKLADNOI MEKHANIKI I TEKHNICHESKOI FIZIKI, Vol.47, February 1977, pp.392~395, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, Vol.22, No.2, February 1977, pp.232~234.

[8] Z.Zabar, et al, "Novel Schemes for Electromagnetic Launchers"

[9] J.E.Osher, G.Barnes, H.H.Chau, R.S.Lee, C.Lee, R.Speer, R.C. Weingart, "Ope-

rating Characteristics and Modeling of the LLNL 100-kV Electric Gun", IEEE trans. on Plasma Science, Vol.17, No. 3, June 1989.

[10] K.B.Kim, "Analysis of projectile stability in linear induction type electro-magnetic launchers", Ph.D dissertation, New York Polytechnic university, April 1993.



김기봉(金基奉)

1956년 11월 29일생. 1980년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980~83년 극동건설 Saudi MOFA Project. 1984~86년 럭키개발 Saudi NAPCO Project. 1987~89년 미국 New York Polytechnic University 전기공학과 졸업(석사). 1990~93년 미국 New York Polytechnic University 전기공학과 졸업(공박). 현재 삼성전기(주) 모타연구실 선임연구원.