

차세대 반응장갑의 개발동향에 대한 고찰

송이화^{1†} 박우동² 김광련³

내용목차

1. 서론
2. 폭발형 반응장갑의 적용현황
3. 비폭발형 반응장갑의 개발동향
4. 결론

1[†] (주)풍산 기술연구소 선임연구원

(교신저자 Tel: 054-760-6873 E-mail: challenge-yh@poongsan.co.kr)

2 (주)풍산 방산총괄 부사장

3 (주)풍산 기술연구소 수석연구원

논문접수일: 2010년 04월 09일 게재확정일: 2010년 12월 23일

논문수정일 (1차: 2010년 05월 23일, 2차: 2010년 06월 13일)

A Survey on the Development Movement of Next Generation Reactive Armor

Song, Yi Hwa^{1†} Park, Woo Dong² Kim, Gwang Lyeon³

Abstract

In order to give enhancement to the protection performance of modern fighting armor vehicle, various kinds of reactive armor (RA) systems have been developed by leading defence product manufacturers. There have been strong domestic demands for additional protection measures against hostile anti-armor munitions. Thus, efforts have been given to investigation upon authentic reactive armor system especially for the Korean next generation main battle tank, K2 Black Panther.

However, in order to reduce damages to the chasis upon explosion of RA, development of non-energetic and advanced reactive armor system has been focused. For instance, the United States and Israel have developed the Hybrid Reactive Armor to install onto the Bradley Infantry Fighting Vehicle.

Also, there have been studies and investigations for Korean non-energetic reactive armor system recently. In this paper, the current status of next generation RA and its research activities has been reviewed and discussed to provide right direction of future research and development programs.

<Key Words> *Explosive Reactive Armor, Non-Energetic Reactive Armor, Non-Explosive Reactive Armor, Next Generation Reactive Armor*

1. 서론

과거와는 달리 현대전에서의 전투차량의 중요성은 퇴색되어 가는 것처럼 보였으나, 이라크전쟁 등 시가전을 치루면서, 중요성이 다시 한 번 대두되었다. 전투차량의 경우, 초기설계에서부터 운용 시 예상되는 위협을 고려하여 방호력을 결정하게 되나, 위협체의 발전속도를 고려하면 방호력의 증대를 위한 추가적인 노력이 절실히 요구된다.

위협체로부터 승무원 및 차량을 보호하기 위한 전투차량의 방호력 증대를 위해 부가형 장갑(Add-on Armor)을 적용할 수 있으며, 이러한 부가형 장갑은 부가형 수동장갑 (Add-on Passive Armor), 부착형 반응장갑 (Additive Reactive Armor), 능동과괴장치 (Active Protection System) 등이 알려져 있다.

부가형 수동장갑(Add-on Passive Armor)은 고강도 경량재료 등을 적층 또는 특수 배열하여 기본 동체에 부착되는 것으로, 증가된 위협에 대응하기 위해 방호력을 증대할 경우에 전투차량의 중량 및 부피가 증가하는 단점이 있다. 또한 능동과괴장치 (Active Protection System)의 경우는 위협탐지 및 인식기술에 있어서 아직 개발이 진행되고 있는 실정으로서, 대응해야 할 위협무기에 대해 제한성뿐만 아니라, 방호할 수 있는 위협체의 횡수에 제한이 있다.

부착형 반응장갑(Additive Reactive Armor)은 주로 대전차 포발사 탄약 및 미사일용 성형작약탄두 (Shaped Charge Warhead)에 대한 방호용으로 개발되어 기존 전차의 생존성 증대를 위해 적용되었으며, 보다 개량된 형태의 반응장갑이 지속적으로 연구개발되어 실전에 적용되고 있다. 본 논문에서는 국내외 반응장갑에 대한 지속적인 개발노력과 앞으로 전개되어 나갈 개발동향에 대해서 기술하고자 한다.

2. 폭발형 반응장갑의 적용현황

2.1 위협무기체계의 특성

현재 전투차량은 기본 설계시 최적의 시스템 운용조건 충족을 위한 중량을 고려 주 방호부위를 전면 및 측면에 국한하고 있으나, 위협무기체계의 다양화에 따라 방호력 성능개량시 방호해야 할 부분이 상부 및 후면에까지 확대되고 있다. 그러나 이는 방호 대상 위협무기체계의 선정, 기존 방호 시스템의 효과 등을 고려하여 방호력 성능개량 부위를 결정하고 방호성능과 부착 중량간의 Trade-Off

가 이루어져야 한다[5].

대상 위협국의 대 전투차량 무기체계 보유현황, 위협무기체계 발전 방향, 성능 개량 대상 전투차량의 작전 운용 특성 등을 고려하여 방호 대상 위협무기체계의 선정이 이루어지며, 전투차량에 대한 부위별 위협 형태를 분류하여 보면 <표 1> 과 같다.

<표 1> 전투차량 부위별 위협 형태

부 위	위협 형태
전 면	대구경 APFSDS 대구경 SC (Single / Tandem 탄두)
측 면	대구경 APFSDS (경사) 대구경 SC (Single / Tandem 탄두) 중구경 SC (Single / Tandem 탄두)
후 면	중구경 KE
상 부	대구경 SC (Single / Tandem 탄두) 대구경 EFP 중구경 SC (자탄 : Single)

※ SC : Shaped Charge

EFP : Explosively Formed Penetrator

KE : Kinetic Energy

반응장갑의 전투차량 적용 이후 반응장갑 무력화를 위하여 이중 및 다중 탄두 (Tandem & Multiple Warhead)를 탑재한 무유도/유도 미사일이 개발 및 전력화되고 있다. 이에 대한 대응방안으로서 일부에서 첨단 반응장갑이 개발되고 있으나 [4], 선단 - 주작약간의 지연시간, 비기폭 선단작약 (Non - Initiating Precursor) 등의 탄두의 복잡한 특성에 따라 반응장갑의 효율성이 다소 저하될 가능성이 있다[3].

전투차량에 대한 동구권 위협무기체계의 특성은 <표 2>와 같다.(1)

<표 2> 위협무기체계의 특성

위협무기체계	전장 (mm)	직경 (mm)	형태 *)	RHA관통력 (mm)
Fagot	863	120	H	400
Fagot-M	910	120	H	460
Konkurs	-	135	H	650
Konkurs-M	-	135	T	925
Metis	740	94	H	460
Metis-M	910	127	T	900
Kornet-E	1200	152	T	1200
Hziantema	-	-	T	1000

*) H : HEAT, T : TANDEM

2.2 해외의 적용현황

폭발형 반응장갑(ERA)은 2개의 얇은 강판 사이에 화약을 샌드위치 형태로 배열한 구조로 되어 있으며, HEAT(High Explosive Anti-Tank)탄이 반응장갑과 반응, 탄두가 기폭되면서 메탈제트가 형성되어 반응장갑의 외측 강판을 관통하게 되면 내부의 화약이 폭발하여 얇은 강판의 비행교란 및 폭발압력에 의한 메탈제트를 분산시키는 효과가 있다. 이러한 반응장갑은 기존 수동장갑을 가진 전차의 방호력을 향상시켜주며, 주장갑의 외부에 장착하므로 장갑 자체의 구조에 큰

(1) *Anti Tank*, www.wonderland.org.nz

어려움없이 장착할 수 있다. 뿐만 아니라 수동/복합장갑보다 경량이면서도 뛰어난 HEAT탄 방호력을 소유하고 있다.

최초의 반응장갑 전투차량 적용은 이스라엘의 라파엘이 시도하였다. 이스라엘은 1973년 키프러스 전쟁 이후 보다 높은 방호능력의 필요성을 절감하였으며, 이에 따라 반응장갑 기술을 개발, 적용하기 시작하고, 1980년대 레바논전에서 M-60과 Centurion 전차에 적용하여 실전 효율성을 입증하였다.

러시아는 80년대 중반에 Kontakt-2 반응장갑을 장착하기 시작하여 현재 T-80, T-90 전차에 성형작약탄은 물론 운동에너지탄에 대한 방호도 제공하는 것으로 알려진 Kontakt-5를 장착하고 있으며, 동구권의 T계열 전차 중 상당수가 유사한 구조를 채택하고 있다. 부착형 반응장갑의 현황을 분석하여 <표 3>에 나타내었다(2).



<그림 1> 반응장갑 장착 M60 MBT

(2) *Jane's Armour and Artillery, 1999-2000.*

<표 3> 부착형 반응장갑의 적용현황

국 가	전차 종류	방호 수준
러시아	T-80BV T-72 T-64BV T-62MV T-55MV	SC (KONTAKT)
우크라이나	T-72AG	SC/KE
폴란드	PT-91 T-72M1	SC (ERAWA-1/2)
체코	T-72CZ M4 PSP T-72MP	SC : 2.0배 KE : 1.6배
	T-55A	SC
슬로바키아	ZTS T-72M1 ZTS T-72M2	SC
슬로베니아	M55S1	SC
이란	T-72Z	SC

중국은 2009년부터 생산한 3세대 전차인 Type 99A2 전차의 차체 전면 및 포탑 전방/측면에 이중 성형작약탄 (Tandem HEAT) 방호까지 가능한 반응장갑을 장착한 것으로 알려져 있다.

현재 러시아에서 적용되고 있는 SC용 및 SC/KE용 반응장갑의 방호성능과 장착중량을 표4-6에 정리하였다(3). SC용 반응장갑의 경우, 약 450mm RHA의 추가 방호력을 나타내며, 중량 증가는 약 1000Kg으로 예상된다. 또한 SC/KE용 반응장갑의 방호력은 운동에너지탄의 경우에는 약 151~335mm RHA, 성형작약탄의 경우에는 410~600mm RHA이며, 중량증가는 약 3000Kg이다.

(3) *Upgrading of Combat Vehicles*, www.niistali.ru



<그림 2> 반응장갑 장착 T-72 MBT

<표 4> 부착형 SC 방호 반응장갑의 방호성능

전차 종류	동체 구조	방호력 APFSDS / HEAT	추가 방호력 APFSDS / HEAT*
T-72/72K T-72M/MK	Hull Cast+GRP	335 / 450	0 / 450
	Turret Cast	380 / 410	
T-72M1K	Hull Cast+GRP	400 / 490	
	Turret Cast+Sand	380 / 490	

※ TOW-2 기준

<표 5> T-72S 부착형 SC 방호 반응장갑의 중량

Protection (%)			Weight (Kg)		
Turret	Hull Front	Hull Side	Turret	Hull Front	Hull Side
62	82	32	422	288	300
-			Total : 1,010 Kg		

<표 6> T-72 KE/SC 방호 반응장갑의 성능 및 중량

위협	추가 방호력	방호 대상	Weight
APFSDS (KE)	250 mm	○ 120mm APFSDS ○ TOW-2A ○ ±22° ~ 35°	3,000 Kg
HEAT (SC)	600 mm		

2.3 국내의 적용현황

폭발형 반응장갑(ERA)은 국내에서도 10여년간의 개발과정을 거쳐 개발을 완료하고 K2 전차에 적용된 것으로 알려져 있다. 이 반응장갑은 순수 국내기술로 개발된 체계에 적용된 최초의 반응장갑으로서 성형작약탄 방호 목적으로 개발되었으며, 개인 휴대무기에 대한 기본적인 방호력을 확보하고 있는 것으로 알려져 있다.

3. 비폭발형 반응장갑의 개발동향

폭발형 반응장갑의 경우, 성형작약탄에 대한 장갑차량의 방호력을 확보하기 위한 가장 효율적인 부가형 장갑으로 알려져 있다. 그러나, 피탄된 부위의 반응장갑이 작동한 후 동일위치 피탄 시 방호력이 취약해서 장갑의 폭발력에 의해 비행편이 작동하고 파편이 형성될 때 차량 외부의 장착 구조물에 대한 손상, 비행편에 의한 장갑차량 자체구조의 변형 등을 최소화하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. 이러한 연구는 현대 시가전에서 다중 피탄에 의한 피해의 최소화와 자체구조가 상대적으로 약한 경장갑차량 적용 시의 문제점을 해결할 것으로 보인다.

현재 차량에 적용되어 운용중인 복합 반응장갑 (Hybrid reactive armor)이 대표적인 예이며, 연구개발중인 사례로는 SLERA (Self-Limiting Explosive Reactive Armor), CLARA (Composite Lightweight Adaptable Reactive Armor), NERA (Non-Energetic Reactive Armor), NxRA (Non-Explosive Reactive Armor), MTA (Momentum Transfer Armor), ELRA (Electric Reactive Armor) 등이 있다.

3.1 해외의 적용동향

국지전과 전자전화되는 현대전에서 주력전차 (MBT: Main Battle Tank)와 보병 전투차량 (IFV: Infantry Fighting Vehicle)의 중요성은 다소 저하되는 경향이 있었으나, 이라크전에서 일어난 경험에 의해서 시가전에서도 MBT와 IFV가 여전히 필수적이라는 점이 확인되었다. 이러한 전투차량은 실전에서 SFF (Self-Forming Fragment)탄두, RPG (Rocket Propelled Grenades), IED (Improvised Explosive Devices) 등에 의해서 막대한 피해를 입었다.

실전에서 피해를 경험한 미국과 영국은 이라크에서 기존의 시가전용 방호기구 외에 스트라이커(Stryker) 장갑차에는 방호망(Slat Armor)을, 브래들리(Bradley) 장갑차에는 폭발형 반응장갑을 장착하여 실전에 투입하였다.

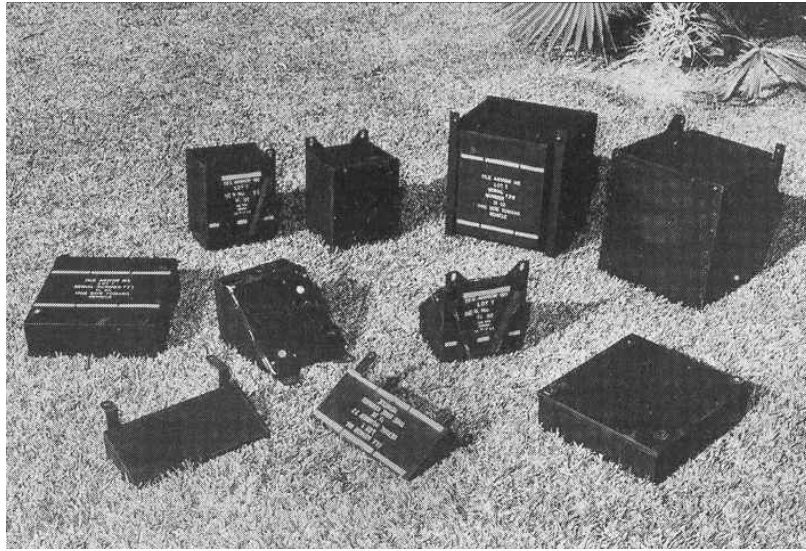


<그림 3> 방호망(Slat)을 장착한 스트라이커



<그림 4> 반응장갑을 장착한 브래들리

이스라엘 라파엘(Rafael)사는 미국의 브래들리 장갑차에 반응장갑을 장착하기 위해 1994년부터 미국의 General Dynamics와 함께 협력하여 2002년에 결실을 이루었으며, 미국 또한 반응장갑에 대해 실전에서 효용성을 높게 평가하였다. 특히 여기에서 적용된 반응장갑은 소위 복합 반응장갑 (Hybrid Reactive Armor)으로써 초기 모델을 개선하여 반응물질과 수동의 복합재료로 구성하여 다중공격에 대한 방호력을 강화한 것이다.



<그림 5> 브래들리에 장착한 반응장갑 모듈

현재 이라크전 이후 둔감성이 보다 강화된 새로운 형태의 둔감형 반응장갑을 브래들리에 적용하고, M113 장갑차 (APC: Armored Personnel Carrier), FV432 APC, CV90 IFV 등에도 적용을 확대하고 있다.



<그림 6> Rafael사의 반응장갑을 장착한 FV432

3.2 해외의 개발동향

1) SLERA

SLERA는 폭발형 반응장갑의 작동구조를 개선하여 수동장갑처럼 취급할 수 있는 최소한의 화약으로 구성된 반응장갑으로써, 폭발형 반응장갑처럼 방호력은 높지 않으나 다중공격에 대처할 수 있고, 가격이 저렴하면서 장착 및 취급이 용이한 반응장갑을 개발중에 있는 것으로 알려져 있다.

2) CLARA

CLARA는 혁신적이고 안전한 형태의 반응장갑 개념으로, 독일에서 개발 중이다. 통상적인 반응장갑은 폭발시 금속판이나 파편이 비산하여 주위의 아군 병사들을 위협하는데, CLARA는 이러한 피해를 최소화할 수 있다. CLARA 반응장갑은 금속판이 플라스틱 섬유복합재로 대체되어 있어서 성형작약 제트로 피격되어 폭발할 때 비교적 피해가 없는 파편들을 비산시킨다. 개발된 CLARA의 각 모듈은 28.5kg이고 두께는 100mm이며, RPG-7V에 대한 방호력시험을 성공적으로 통과한 것으로 알려졌다(4).

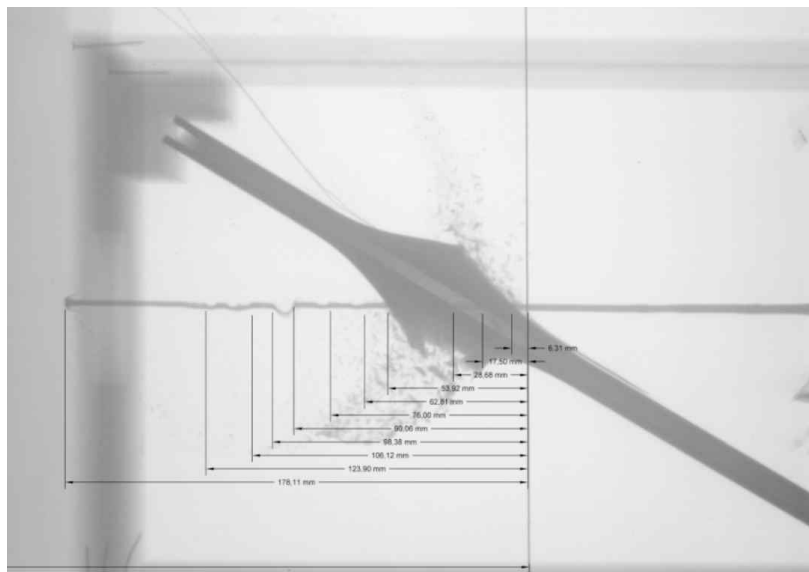


<그림 7> CLARA 장갑모듈 샘플

(4) *Jane's International Defence Review*, idr.janes.com, 2005. 6.

3) NERA / NxRA

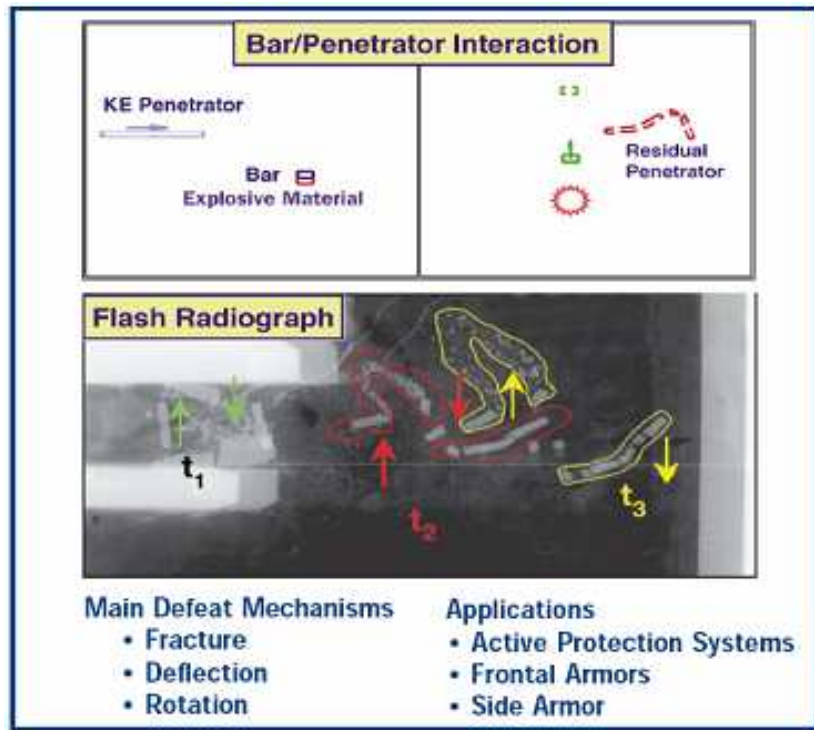
NERA 및 NxRA는 폭발형 반응장갑의 반응물질 대신 고무와 같은 비활성의 팽창성 물질 또는 급속한 반응을 일으킬 수 있는 비폭발형 화학물질을 적용한다. 이러한 형태의 반응장갑은 피탄시 발생하는 충격에 의해 팽창성 물질이 국부적으로 높은 압력을 생성시켜 금속판이 부풀어 오르는 원리를 이용한다. 이는 반응물질의 폭발을 이용하여 금속판이 부풀어 오르는 폭발형 반응장갑과 유사한 방호원리를 가지고 있다<그림 8>. 또한 폭발형 반응장갑보다는 방호효과가 낮으나, 안전하면서 병렬로 배열하여 놓을 수 있는 이점을 가지고 있어, 경장갑(Light Armor)용으로 효율적이며 현재 개발완료 단계에 있으나, 운동에너지탄에 대한 효과를 높이는 보완연구가 진행 중이다.



<그림 8> NERA 작동 X-ray 사진

4) MTA

MTA는 전면 및 측면에 설치되어 전차를 향해 날아오는 탄의 탄도에 수직방향으로 소형의 강철판을 발사한다. 발사된 강철판이 대전차탄과 충돌하면서 대전차탄의 탄도를 굴절시키고 운동량을 약화시킨다. 프랑스의 르클레르(Leclerc) 2010전차 및 미육군의 전스펙트럼능동방호(FSAP: Full Spectrum Active Protection) 개발 시에 운동량 전환장갑에 대한 연구를 한 것으로 알려져 있다.



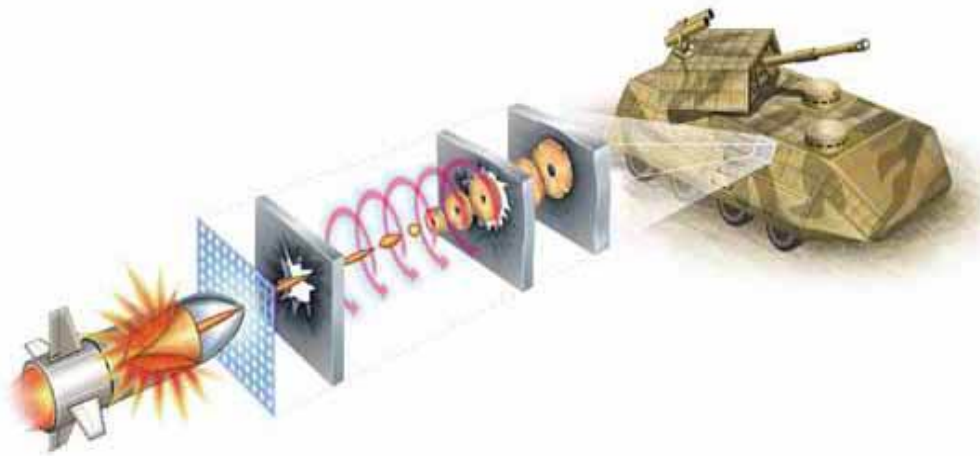
<그림 9> MTA의 방호 개념도

5) 전기장갑

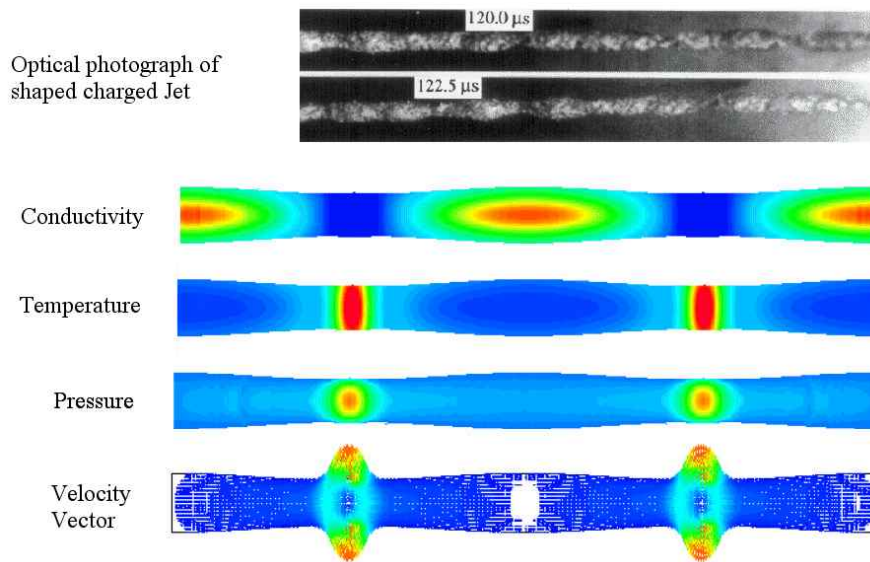
ELRA는 전자기력에 의해 성형작약탄의 제트를 교란 및 Break-up시켜 관통력을 저하시키는 개념을 가진 반응장갑이다. ELRA는 Ohmic Heating 과 Lorentz Force 현상을 이용한 구조로써 적당한 이격거리와 전위차를 가지는 두 개의 도전판이 병렬로 놓여 구성된다[1].

<그림 10>에서 보는 것처럼 성형작약탄의 제트가 첫번째 도전판을 관통하여 두 번째 도전판에 이르면 고용량의 Capacitor에 저장된 전류가 흐른다. 이 때 발생하는 높은 전류에 의해 자기압력이 생성되고 이것이 제트에 작용하여 제트의 Necking 부위의 작은 직경을 더욱 감소시키게 된다. 그 후 도전판을 통과한 제트의 앞부분에서 전류의 흐름이 멈추므로 자기압력은 제거되고 내부의 장력에 의해서 제트의 Necking 부위는 보다 가열되어 열연화를 일으키게 된다. 이러한 효과에 의해서 제트는 Break-up이 일어나게 되며 이에 따라 관통력은 감소하게 된다. <그림 11>에 간략한 물리적 작동 개념을 나타내었다.

실험결과에 의하면 RPG7에 대해 약 20kV의 전압을 걸었을 때 50%에서 70%에 이르는 관통력의 감소가 확인되었다 [2].



<그림 10> 전기장갑의 방호 개념도



<그림 11> ELRA 물리적 작동 개념도

3.3 국내의 개발동향

국내에서도 2008년까지 비폭발형 반응물질에 대한 기초연구가 진행되었으며, 현재 비폭발형 반응장갑에 대한 응용연구가 진행되고 있다. 국내에서 계획 중인 비폭발형 반응장갑은 NxRA와 유사한 것으로 알려져 있으며, 향후 전기장갑에 대한 개발도 진행될 것으로 예상된다.

4. 결론

반응장갑은 부가형으로 기존 전투차량의 방호성능을 획기적으로 증가시킬 수 있는 구조이지만 폭발작동으로 인한 구조물의 파괴, 아군피해 등의 위험을 갖고 있다. 이러한 문제점을 극복하고 저중량, 고효율을 가질 수 있는 장갑이 지속적으로 개발되고 있으며 기존의 경량 장갑차량에 부착하여 대전차 개인로켓탄 등의 방호에 적용 가능한 장갑 등이 선진각국에서 개발되고 있다. 또한 비활성물질을 사용한 반응장갑, 전기에너지를 사용한 전기장갑 등이 미래 전투차량에 적용하기위해 지속적으로 연구개발되고 있는 추세이다.

현재 국내에서는 폭발형 반응장갑이 이미 개발완료되었으며, 이에 의해 전차 등 중장갑 차량의 생존성이 충분히 확보된 상황이다. 그러나 전차에 비해 차체가 약한 경장갑차량 등의 생존성 확보를 위한 기술은 상당히 빈약한 상황이다.

현재 해외에서는 방호시스템의 기술공개가 제한되어 있어, 다양한 방호시스템에 대한 해외기술의 자료확보가 어려우므로, 국내에서 독자적인 연구개발활동을 가속화해서 경장갑차량 등의 생존성을 확보해야만 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] E. Gruss, Taylor Impact and Jet Stretching with Longitudinal Electric Current *29th Con. Mechanical Engineering*, Haifa, Israel, 2003.
- [2] M.J. van de Voorde, Defeating The RPG7 Threat by Using Electric Power in Reactive Armour Applications *23rd Int. Sym. Ballistics*, Tarragona, Spain, 2007.
- [3] P. J. Konig and F. J. Mostert, The Design and Performance of Non - initiating Shaped Charges with Granular Jets against ERA, *20th Int. Sym. Ballistics*, Orlando, FL, 2002.
- [4] V. Grigoryan, Tank Protection : Anachronism or Vital Necessity, *Military Parade*, Oct., 2002, pp.82-84.
- [5] Z. Rosenberg,a, Y.Ashuacha, Y. Yeshurana and E. Dekela, On the main mechanisms for defeating AP projectiles, long rods and shaped charge jets, *International Journal of Impact Engineering Vol. 36, Issue 4*, April 2009, pp.588-596.