

차륜형 장갑차의 제동편향에 대한 고찰

손정수, 이현성, 박재준, 최명진
건양대학교 군사경찰대학원 방위산업학과
e-mail:officesky@konyang.ac.kr

A Study on the Braking Deflection of Wheeled Armored Vehicles

Hyun-Sung Lee, Jae-Joon Park, Jung-su Son, Myung-Jin Choi,
Dept. of Degense Industry, Kon-Yang University

본 논문에서는 전력화가 예정되어있는 차륜형 장갑차에 개발중 발견한 제동편향 현상에 대한 내용과, 발생원인 및 제동편향현상을 해결하기 위해 실시된 조치에 대해 연구해보고, 차후 무기체계 개발간 추가되어야 하는 사항에 대해 알아보았다.

1. 서 론

장갑차는 차체에 강철판을 덧씌운 전투차량을 의미하며, 탑승원의 보호를 위해 차체를 경장갑(經裝甲)으로 덧씌우고 병력 수송이나 전투용으로 사용되는 군용 차량이다. 장갑차는 운용방식에 따라 보병 수송차(APC, Armored Personnel Carrier), 보병 전투차(IFV, Infantry Fighting Vehicle), 정찰장갑차(Scout Vehicle)로 나뉠 수 있으며, 기동방식에 따라 도로기동에 강점을 가진 차륜형과 야지기동에 강점을 가진 무한궤도형으로 구분되는데, 현재 국군에서는 무한궤도형인 K-21 보병전투차량을 2007년 개발을 완료하여 운용하고 있다.

그러나, 향후 전쟁상황 발생시 대한민국의 높은 도시화로 인해 도심지역 전투상황에서의 아군 전투력의 신속한 투사능력이 중요하게 대두되면서, 우리 군은 차륜형 장갑차를 채택하여 도심에서도 원활하게 기동할 수 있는 차륜형 장갑차 2종을 2017년 도입하여 전력화를 진행 중이다. 첫 번째 장비는 K808로 보병부대의 수색정찰과 신속하게 전투력을 집중 및 전환할 수 있도록 임무수행이 가능하도록 수상운행장치, 런플랫 타이어, 자력 구난장치, 양압장치가 장착되어있는 장갑차이며, K806는 후방지역 기동타격 및 중요시설방호 임무수행용으로 제작된 장갑차이다.

이러한, 차륜형 장갑차는 개발목적에 맞도록 도심지역에서 운용되도록 최적화 되어 설계 및 운용되어야 하며. 이에 더불어, 가장 중요한 사항중에 하나는, 실 작전 및 훈련간 우발상황에 대비하여 감속 및 정지 및 방향전환을 위한 제동성능 발휘를 통한 안전성을 확보해야 한다.

그러나, 차륜형 장갑차의 전력화 평가간 K806 배치부대 현장방문시 제동 편향 현상이 식별되어, 차량후미가 심하게 미끄러져 나가 기동방향을 벗어나는 현상이 발생되어, 안정성 확보에 큰 제한사항으로 대두되었다. 차륜형 장갑차의 차폭은 2.7m로 도로교통법 상 국내 도로 폭인 3m를 고려했을 때 제동안 인접 차도를 침범할 가능성이 있기 때문에 안정성 문제에 큰 제한사항이다. 이번 연구에서는 해당사항에 대한 원인분석 및 안전을 고려한 제동편향 기준 설정과 평향성능 확인이 가능하도록 기준확인을 위한 시험 및 수정후 실험절차에 따른 고찰을 통해 차후 차륜형 무기체계 개발시 편향현상 예방을 위한 요구조건이 반드시 추가되어야 함을 주장하고자 한다.

2. 본 론

2.1 차륜형 장갑차량의 제동편향 현상

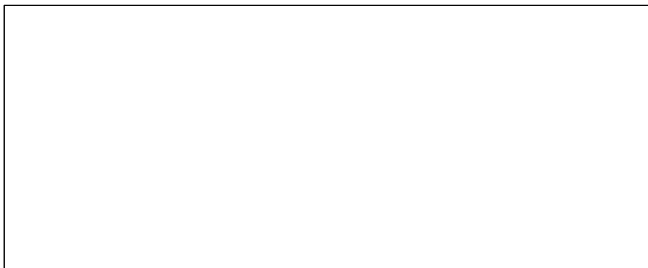
2.1.1 차륜형 장갑차의 제동체계

제동편향 현상을 이해하기 위해 우선 차륜형 장갑차의 제동체계 구조에 대해 확인할 필요가 있다. 우선 제동전달은 브레이크 페달에서 릴레이 밸브와 모듈레이터 밸브를 거쳐 에어마스터와 캘리퍼로 힘이 전달되면서 제동이 되는 구조이다. 브레이크 페달에 압력이 가해지면, 반응시간 및 압력상승시간을 단축시키는 릴레이밸브를 거쳐, 유압시스템 내에서 PTO 구동장치 등에 동력을 전달할 때 충격을 완화시켜주며, 적당한 힘으로 전환시켜주는 모듈레이터 밸브를 거쳐, 각 휠 실린더로 에어탱크에 저장된 압축공기의 압력을 더하여 큰 유압의 힘이 발생됨에 따라 에어마스터를 작동시켜 유압라인으로 연결된 각 휠 실린더를 효과적으로 제어할 수 있도록 제동력을 적용시켜주게 된다.

2.1.2 차량의 제동편향 발생원인

차량의 제동편향 현상은 차량이 주행하는 동안 브레이크 페달을 밟았을 때, 패드나, 디스크의 편 마모, 휠 얼라이먼트, 캘리퍼 나 휠 실린더의 문제 등으로 좌측과 우측의 제동력의 불균형이 발생되어 차량이 한쪽으로 치우치는 현상이다. 서론에서 소개한 전력화 평가간 K806 장갑차에서 도표 1과 같이 제동편향 현상이 발생되었으며, K808 차량은 이러한 현상이 미약하였다.

[도표 1] K806 장갑차의 제동편향 현상



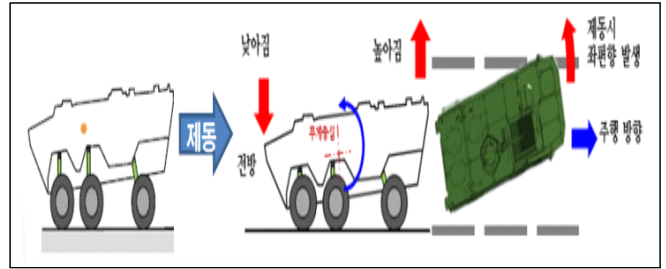
이러한 제동편향 현상은 제동시 관성에 의해 차체의 전방부가 낮아지는 노즈다운 현상이 발생함에 따라 발생되는데, 제동시 차량의 전방부가 낮아지면, 상대적으로 후방부가 들리게 되고, 차량의 후방측 타이어가 지면으로부터 떨어짐에 따라 접지력이 감소하여 무게중심이 차량의 전면부로 쏠림에 따라 한쪽으로 미끄러져 편향현상이 발생하는 것이다. 이 현상에 대해 도표 2에서 확인할 수 있다. 차륜형 장갑차의 설계상 특징으로, 파워팩이 차량 우측과 앞쪽에 장착되어 있어, 해당부분이 회전축 (Pivot point) 이되어 차량이 좌측으로 쏠리는 제동편향 현상이 일어나고 있는 것이다. 이러한 제동편향현상으로 무게중심에 따라 언더 혹은 오버스티어링 현상을 발생시키기 되어 최악의 경우 차량이 전복되는 사고를 발생시킬수 있다.

문제는, 최초 제동편향 성능항목을 검증할 수 있는 기준이 개발단계부터 제시되지 않았으며, 시험평가에

이르러서야 현상이 발견되어 무기체계가 전력화 되기 까지 상당기간의 추가시간이 소요되었다는 점이다.

차륜형 장갑차의 제동구조와 편향현상을 종합적으로 고려했을때, 제동력의 축이 되는 유압의 기능과 노즈다운 현상을 예방할 수 있는 대책이 강구되어야 제동편향 현상이 수정되어, 차량기동간 안정성이 확보될 수 있을 것이라고 생각한다.

[도표 2] 차륜형 장갑차 제동시 노즈다운 현상으로 인한 편향발생



2.1.3 국내 도로조건

차륜형 장갑차가 기동가능한 도로차선 내의 허용폭에 대한 안전성을 판단하기 위한 기준을 판단하기 위해 국내 도로관련 규정을 확인한 결과, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제 10조 (차로)에서는 표 1과 같이 차로의 최소폭을 규정하고 있으며, 접경지역에서 전차, 장갑차 등 군용차량의 통행에 따른 교통사고의 위험성을 고려하여 필요한 경우에는 3.5미터를 차로의 최소폭으로 설정하도록 되어있다.

[표1] 설계속도, 각 지역별 차로의 최소 폭

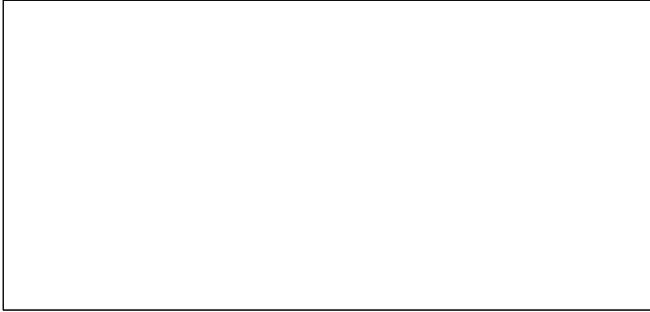
설계속도 (킬로미터/시간)	차로의 최소 폭(미터)		
	지방지역	도시지역	소형차도로
100 이상	3.50	3.50	3.25
80 이상	3.50	3.25	3.25
70 이상	3.25	3.25	3.00
60 이상	3.25	3.00	3.00
60 미만	3.00	3.00	3.00

2.2 국내외 제동편향 성능기준

2.2.1 민수차량

미국은 연방 자동차 안전표준 (Federal Motor Vehicle Safety Standards, 이하 FMVSS) 을 지정하여, 안전관련 사항을 관리하는데, FMVSS 121, S5.3.6에서는 제동편향성능에 대해 확인할 수 있다. 해당 조항에서는 아래의 도표와 같이 4.5톤 차량 기준으로 미국의 도로폭인 12 피트 (3,7m)를 이탈하지 않도록 규정하고 있다.

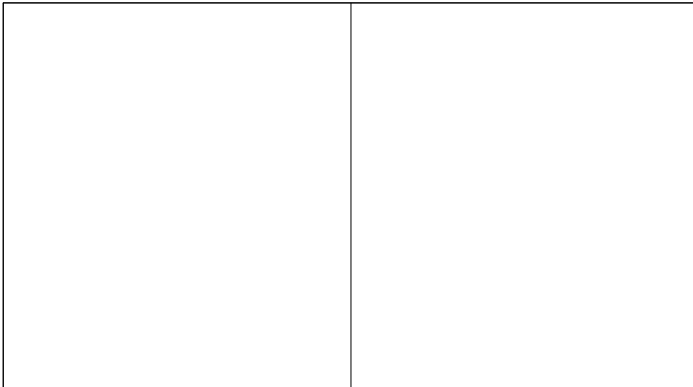
[도표3] FMVSS 121 S.5.4.6



국내 법령상으로는 아래와 도표와 같이 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙상으로는 자동차의 차선이탈 등 과도한 제동편향을 법적으로 금지할 수 있는 법령이 시행중이다.

자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 별표 7의 관련규칙상으로는 제동시 자동차의 어느 부분도 너비 3.5m의 차선을 이탈하지 아니하여야 하고, 정지시 차량중심선은 차선을 기준으로 좌·우로 15도를 초과하지 않도록 해야 하며, 제동시 각 바퀴는 16km/h 이상의 속도에서 바퀴잠김이 발생하지 않고, 이상진동 없이 정지할 수 있어야 한다. 또한, 동일규칙 제4조상으로는 자동차의 길이 및 너비, 높이에 대한 기준이 제시되어 있는데, 너비는 2.5m를 넘지 않도록 하고 있다.

[도표4] 주제동장치의 제동능력 확인시험 및 자동차의 안전 기준



이러한 기준으로 봤을때, 현재 발생중인 제동편향 현상이 지속된다면, 국내외 민수차량의 어떤 기준에도 부합하기 어려운 상황이다. 게다가 차륜형장갑차의 진폭은 앞에서 언급했던 것처럼 2.7m 이기 때문에 관련 규정상 2.5m에 부합하기 않아 민수기준을 충족하기는 어렵다고 판단된다.

2.1.2 균용차량

미군의 시험운용절차 2-2-608 4.2.3 (Test Operation Procedure 2-2-608, 이하 TOP 2-2-608 4.2.3)에서는 제동거리와 제동편향거리를 기준속도와 차량폭을 기준으로 아래의 표와 같이 나누고 있다.

[도표5] TOP 2-2608. 4.2.3

TOP 2-2-608, 4.2.3	
구분	기준
제동거리	① 32 km/h에서 정지시까지 9.1 m 이내 ② 64 km/h에서 4.4 m/s ² 감속도로 정지
제동편향 거리	③ 차량 폭의 1.5배에 해당하는 차선을 이탈하지 말 것.

민수차량과 다른 특성은, 민수차량은 차선폭으로 제한하지만, 전투차량은 폭이 민수차량에 비해 상대적으로 넓고, 무겁기 때문에, 이러한 특성을 생각하여, 차폭과 특정 속도에서의 제동거리 및 감속도를 기준으로 설정하여 적용중이다. 우리는 제동편향거리가 차량폭에 1.5배에 해당하는 차선을 이탈하지 않아야 하는 것에 주목할 필요가 있다. 왜냐하면, 국내에서는 이러한 기준이 적용되지 않았기 때문이다. 만약 이러한 제동편향 관련 규정이 기존부터 적용되었다면, 최초 차륜형 장갑차의 개발시부터 성능요구조건에 반영되지 않았을 리가 없다고 사료된다.

2.3 제동편향 기준실차 확인시험 결과

2.3.1. 제동편향 기준수립

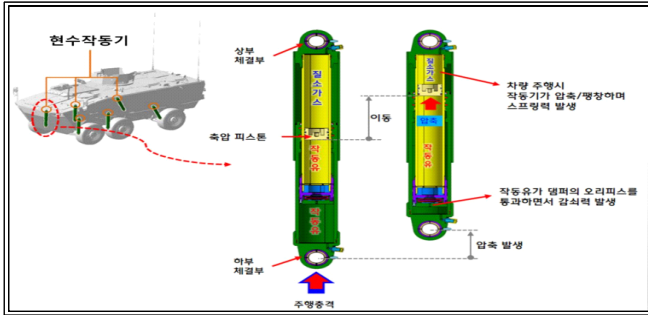
편향의 기준을 수립하기 위해, 민수차량의 경우 차량 전폭이 2.5미터로 제한되어 있기 때문에. 민수용 기준을 따르기에는, 차체 규격상 제한사항이 많으며, 또한 무기체계이기 때문에, 관련 법령에서 예외조항을 두고 있다. 따라서 제동거리와 제동편향거리를 측정하는 조건을 TOP 2-2-608 규정을 준용하는 것이 필요하다.

2.3.2. 제동편향 기준실차 확인시험

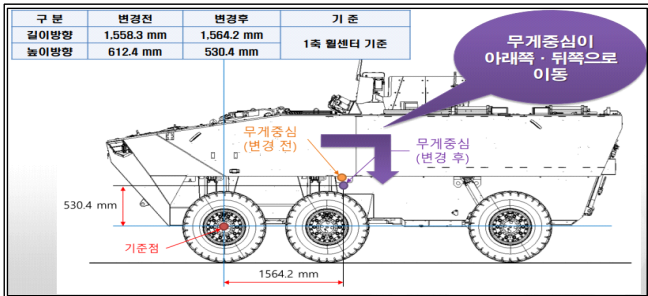
시험기준을 정리해보면 64km/h의 제동초속도로 4.4m/s² 이상의 감속도로 제동하여 차량이 차폭인 2.7m의 1.5배에 대한하는 차로폭 즉 4.05m을 벗어나지 않도록 해야 하는 것이다. 이러한 조건을 충족하기 위해 시험당시 존재했던 노즈 다운 문제를 해결해야 하는데, 시험당시 노즈 다운 문제가 발생했던 원인중에 하다는 차체 무게중심이 앞으로 쏠려있기 때문이었다. 파워팩의 위치를 조정하는 것으로 설계를 변경한다면 개발기간 연장에 따른 양산일정에 심대한 악영향을 초래할 수 있기 때문에, 현수작동기의 충진압을 조정하여 행정거리 (Stroke)를 축소하는 방식을 사용하였다. 방법으로는 제동시 발생하는 전방의 현수작동시 압축량을 최소화하여 제공간 노즈 다운 현상 발생시 전방과 후방의 높이차 (변동폭)을 줄여 후방 들림정도가 낮아서 결과적으로 후방 타이어의 접지력을 증대

시키는 방법이었다. 현수작동기 위치 및 구조와 충전압 변경 전/후 차량 무게중심의 비교결과는 아래의 도표를 참고하기 바란다.

[도표6] 현수작동기 작동구조

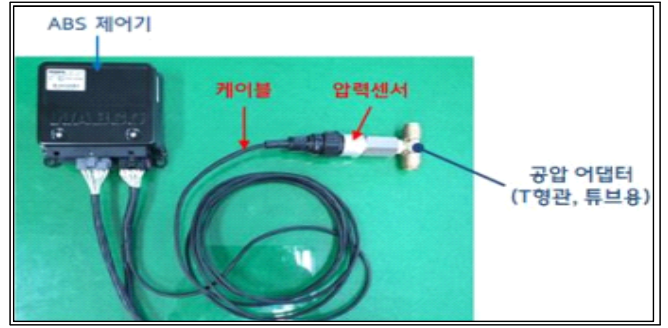


[도표7] 현수작동기 작동구조

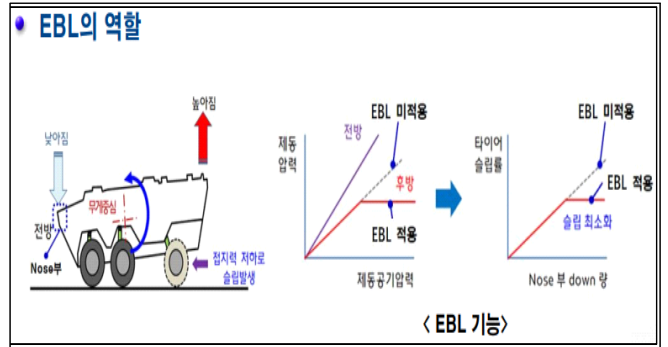


두 번째 방법은 ABS-EBL 기능을 추가한 것이다. 제동 시 앞바퀴보다 뒷바퀴가 먼저 들리면서 접지력을 잃어 슬립이 일어나거나 타이어가 잠기면서 편향이 발생되는데, EBL 기능을 사용하면 전자 제동센서 (Electric Brake Censor)를 통해 각 축, 특히 후방축의 제동력을 제한하면서 하방축 제동압이 일정이상 상승하지 않도록 하여 타이어 슬립을 방지하는 기능으로 이를 구현하기 위해 ECU 소프트웨어를 수정해, 제동페달 압력을 입력받아 각 축별 압력을 설정하기 위해 아래 도표와 같이 압력센서 및 케이블을 추가 장착하여 후방 제동압력이 급격하게 높아지지 않도록 하는데, 제동시 EBL이 적용된 동작은 제동페달이 작동되었을때 압력 및 바퀴의 속도를 측정하여 ABS제어기에서 EBL을 작동시켜 바퀴 후방축 (3축)의 변조기 밸브에서 제동압력을 제한한 뒤 3축의 에어마스터에서의 제동오일의 압력을 제한함으로써, 최종 3축 캘리퍼의 제동력을 제한하는 방식으로 후방 3축의 제동력을 조절하여 타이어 슬립과 노즈다운 현상이 발생하지 않도록 조정하였다.

[도표8] ABS-EBL 적용을 위한 압력센서 및 케이블



[도표9] EBL의 역할



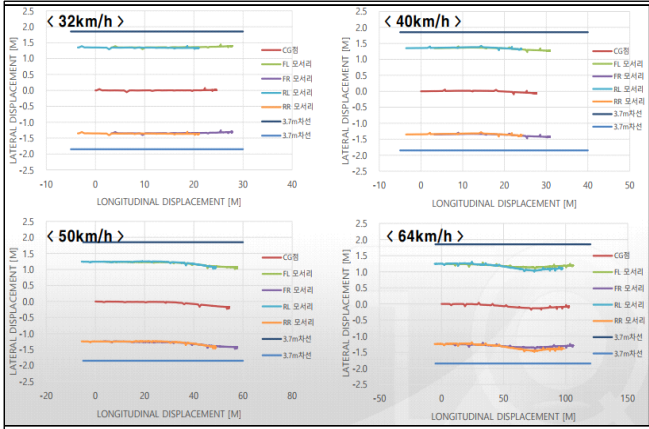
ABS-EBL과 와 현수작동기 충전압 조절을 시제차량에 적용하여 육본. 방사청, 국과연, 체계업체가 참여하여 자용차용합기술원 (JIAT) 새만금 주행시험장에서 전투실험을 실시하였다. 측정결과를 측정하는데 있어 조향로봇과 전압, 전류, 온도, 압력을 측정하는 DAQ (Date Acquisition) 장비, DGPS (Differential Global Positioning System)을 통해 차량속도, 제동거리, 제동편향거리를 정확히 측정하며, 자이로를 통해 차량의 종·횡방향 가속도 및 Yaw율, Pitch각을 아래도표와 같이 장착하여 실험 및 결과값을 측정하였다.

[도표10] 실험장치 장착

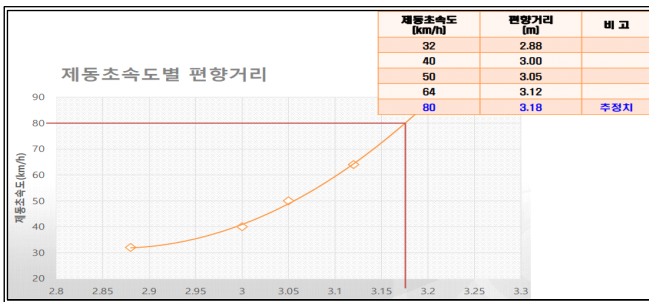


각 속도별 성능결과는 아래와 같았다.

[도표11] 성능시험 결과



[도표12] 전투중량 적용하 제동초속도별 편향거리 측정결과 (80km/h, 3.0m/s² 조건일때 편향거리)



시험항목은 수직 / 참호 장애물 통과, 중·횡경사 등 판능력, 급제동능력이었으며, 체계규격서 성능항목 총 114개중 개선방안과 관련있는 항목에 대해 시험이 진행되었다. 편향거리는 미 TOP 기준인 4.05m 이내로 기준을 충족하였다. 다만 체계업체 시험환경 여건이 기준인 64km/h 제동시험이 제한되는 환경으로 추가실험이 필요했다. 가속거리 (550m), 제동시험거리 (20m), 안전거리 (30m)를 포함하여 약 600m 이상의 직선로의 조건이 필요했으나, 시험장 (업체) 여건상 제동시험 기준속도인 64km/h 도달을 위한 거리가 부족하여 조건을 재검토 후 추가실험이 필요했다. 또한 속도조건을 확인한 결과 32km/h, 40km/h 속도에서 목표 감속도 (등가)수준이 노면과의 마찰계수 가 불충분하여 ABS가 개입되어 수준유지가 제한되었다. 다만, 50km/h 속도는 사내 시험 가능 및 ABS가 개입되지 않아 목표성능의 확인시험이 가능했다.

따라서 최종 성능검사 기준은 TOP 기준 (64km/h의 제동초속도, 4.4m/s² 감속도)와 등가가속도를 측정하는 기준으로, 아래의 수식을 적용하여 50km/h를 기준으로 5.6m/s²로 계산할 수 있었다.

$$a = \frac{64 \times 4.4}{50} = 5.6$$

시험장 여건을 고려한 추가시험의 기준치 (50km/h의 제동초속도 5.6m/s² 감속도)를 적용한 품질시험 결과 아래 도표와 같이 자동차융합기술원(JIAT) 측정 64km/h TOP 기준과 제동편향거리 수준 유사한 결과

를 보였다(±3%)

[도표13] 등가 시험조건 적용하 측정결과

구분	제동속도(kph)	감속도(기준)(m/s ²)	감속도(측정)(m/s ²)	차폭기준 편향거리(m)	비고
공차중량	32	8.8	6.2	N/A	칭원공정
	40	7.0	6.0	N/A	
	50	5.6	5.6	3.1(JIAT 대비 -3.1%)	
	64	4.4	4.4	3.2	자동차융합기술원
전투중량	50	5.6	5.6	3.2(JIAT 대비 +3.2%)	칭원공정
	64	4.4	4.4	3.1	자동차융합기술원

3.결 론

도시전장에서 효율적인 전투력 투사를 위한 차륜형 장갑차 도입을 위해 최초 전력화평기간 K806 차륜형 장갑차 주행시 제동 시 제동편향 현상이 발생되어 원인을 분석한 결과, 파워팩 등 중량구성품으로 차체 앞부분에 구성되어 있어, 제동 시 노즈다운 현상으로 인해 차량이 전방으로 쏠리면서 후방 3축 바퀴의 노면 지지력이 감소함에 따라 제동편향이 발생하였으며, 이는 최초 양산간 제동편향에 대한품질확인 기준의 부재로 인하여 발생되었다.

기준은 미군에서 사용하는 TOP2-2-608 4.2.3을 준용하여 제동거리 및 제동편향거리를 기준속도와 차랑폭에 대한 세부기준을 적용하여 세웠으며, 제동편향현상을 수정하기 위해 현수작동기의 질소가스 및 작동유 충전압을 조정하여 차체의 무게중심을 이동하였으며, ABS-EBL 기능을 통해 쏠림현상을 예방하여 노즈다운 현상을 근본적으로 제거하여 제동안정성을 향상시켰다. 개선입증 및 체계입증시험을 통해 제동편향현상이 개선되었음을 확인되었으나, 시험장 환경을 고려하여 국방규격상 시험조건을 일부 변경하여 적용하였다. 이번 연구를 통해 얻은 교훈은, 무기체계 도입간 성능요구조건을 설정할 때, 이러한 사례를 적극 활용하여, 국방표준서에 반영 및 적용을 철저히 해야 하겠으며, 성능조건을 시험하기 위한 좀더 체계적인 실험장이 속히 갖춰져야 하겠다.

참고문헌

- [1] 최명진, “국방표준서 제정 (6차) 연구”, 건양대학교 산학협력단, pp. 28-37, 2월, 2023년
- [2] 美 Federalregister; Federal Motor Vehicle Safety Standards No. 121; Air Brake Systems (<https://www.federalregister.gov/documents/2008/03/07/E8-4460/federal-motor-vehicle-safety-standards-no-121-air-brake-systems>)
- [3] 성수민, “차륜형 장갑차 제동편향편향 개선에 관한 연구”, pp. 4,7,8, 10월, 2020년