

장갑차 유니버설 조인트 캡이탈 방지를 위한 와이어 용접강도 개선

주용원^{1*}, 박동민¹, 김윤석²
¹국방기술품질원 기동화력센터, ²우진정밀

A Study on the Improvement of Wire Welding Strength for Prevention of Armored Vehicle Universal Joint Cap Detachment

Yong-Won Joo^{1*}, Dong-Min Park¹, Yun-Seok Kim²
¹Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality
²Woojin Precision Company

요약 본 연구에서는 장갑차에 장착되는 유니버설 조인트의 캡 이탈방지를 위하여 와이어-캡 간 용접강도를 향상시킬 수 있는 방안을 연구하였다. 유니버설 조인트는 파워팩에서 발생하는 동력을 종감속기 및 차체로 전달하는 주요 구성품으로 정비 간 발생한 충격에 의해 유니버설 조인트의 와이어-캡 스폿용접부가 탈락하는 품질문제가 발생하였다. 이 문제에 대하여 4M 기반의 특성요인도 분석을 통하여 스폿용접부 용입 불충분을 해당 현상의 원인으로 식별하여 캡 상단 용접부를 와이어 형상으로 추가 가공하여 용입이 충분히 공급되는 스폿용접 방법으로 품질개선을 수행하였다. 개선된 유니버설 조인트에 대하여 만능재료시험기로 개선 전·후 제품의 인장강도를 측정하여 정량적인 개선과 체계 장착시험으로 체계 적합성을 확인하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 유사장비의 고장 원인분석 및 품질개선에 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract In this study, a method to improve the weld strength between the wire and the universal joint cap is established to prevent the cap from falling off the universal joint of an armored vehicle. The universal joint is a major component that transmits the power generated from the power pack to the drive system and car body, but the wire cap (spot welded to the universal joint) fell off due to impacts during maintenance. To address this problem, 4M-based characteristic factor analysis identified insufficient spot welding as the cause, and the welded part at the top of the cap was processed into a wire shape to improve spot welding quality. For the improved universal joint, the tensile strength of the product before and after improvement was measured with a universal testing machine, and the conformity of the system was confirmed through a quantitative improvement and system installation test. These research results are expected to be helpful in analyzing failures in similar equipment to improve quality.

Keywords : Universal Joint, Welding Strength, Spot Weld, Final Drive, Insufficient Welding

1. 서론

전차와 보병의 합동작전이 수행되는 현대 전장에서 전차의 경우 지속적인 개량으로 인하여 전투능력이 향상되

어 왔으나, 보병의 경우 전차에 비하여 미약한 실정이다. 이에 따라 보병에게 기동력과 방호력을 제공하고 화력을 지원할 수 있는 장갑차의 역할은 날로 중요해지고 있다 [1]. 장갑차는 디젤엔진에서 발생한 동력이 변속기를 통

*Corresponding Author : Yong-Won Joo(Defence Agency for Technology and Quality)

email: jooyongwon@dtaq.re.kr

Received March 23, 2023

Accepted May 12, 2023

Revised April 25, 2023

Published May 31, 2023

하여 종감속기 및 차체로 전달하여 도심에서부터 야지 및 험지까지 다양한 환경에서 신속한 기동을 가능하게 한다.

엔진에서 발생된 동력이 변속기를 거쳐 종감속기로 전달될 때 축이음요소인 유니버설 조인트가 사용된다. 유니버설 조인트는 변속기의 구동축과 종감속기의 피동축이 일직선 상에 있지 않아도 동력을 전달할 수 있는 장갑차의 주요 동력전달장치이다. 유니버설 조인트에는 정비시 캡이 이탈하는 것을 방지하기 위해 와이어를 스폿용접으로 고정하게 되는데, 최근 야전에서 운용 중인 장갑차 정비 중 고정된 와이어가 탈락하여 캡 이탈 및 내부 구성품인 니들베어링의 분해와 파손이 다회 발생하였다. 이러한 고장은 장갑차 기동력에 악영향을 미치는 손상으로 품질개선이 요구되었다.

유니버설 조인트의 연구동향은 프로펠러 샤프트용 유니버설 조인트 동특성 해석, 샤프트 연결부 각도와 하중의 연관성에 대한 해석, 유니버설 조인트용 니들베어링에 추가되는 베어링 하중을 산출하여 조립 상대품인 베어링 캡과 스파이더에 걸리는 면압 강도 해석 등 유니버설 조인트의 내구성 향상을 위한 연구 등이 이루어져 왔으며[2,3], 만능시험기 또는 인장시험기를 이용한 용접강도 측정을 통하여 맞대기, 필릿, 가스압접 등의 용접 강도 향상에 관한 지속적인 연구가 있었으나[4-6], 유니버설 조인트 와이어 탈락방지를 위한 고장원인분석과 품질개선활동은 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 스폿용접된 와이어의 탈락 현상을 개선하기 위하여 특성이론도 분석을 실시하여 주요 원인을 도출하였다. 이에 따른 개선안이 적용된 시제품과 기존품을 만능재료시험기로 인장강도를 측정하여 인장력 향상 여부와 체계 장착시험을 통한 체계 적합 여부를 확인하였다.

2. 본론


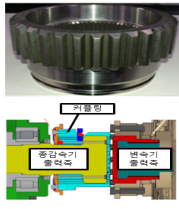
2.1 유니버설 조인트의 분류 및 구조

축이음 요소로 많이 사용되는 커플링은 일반적으로 운전 중에 동력 전달을 끊을 수 없으며, 두 축이 일직선 상에 있어야 하는 고정 커플링과 일직선 상에 있지 않아도 되는 유연성 커플링으로 구분한다[9]. 유니버설 조인트는 구동축과 피동축이 나란히 정렬되어 있지 않아도 동력 전달을 가능하게 하는 유연성 커플링으로 분류되며,

군용 궤도차량에서 파워팩의 동력을 종감속기로 전달하여 차체 기동륜을 회전시키는 축이음 요소로서 체결방식에 따라 Table 1과 같이 구분할 수 있다.

장갑차의 유니버설 조인트는 볼트 체결 타입으로 스파이더, 캡, 니들베어링, 와이어 등으로 구성되며 파워팩과 종감속기가 연결되는 좁은 공간에서의 조립 및 분해가 용이하여 정비성이 뛰어난 특성을 갖는다.

Table 1. Fastening method of shaft joint element

	Bolt fastening	Coupling fastening
component	Spider, cap, wire, bolt	coupling
model		
fastening type	bolt fastening axis connection	coupling direct connection

2.2 현실태 및 문제점

유니버설 조인트 장착 및 탈거 등 정비 작업 간 캡의 이탈을 방지하기 위해 와이어-캡의 스폿용접을 통해 캡을 고정시키는데 정비 간 발생 한 충격으로 인하여 Fig. 1과 같이 와이어가 탈락하여 캡 내부 구성품인 니들베어링의 손상이 발생하였다. 니들베어링은 좁은 공간에 장착되는 변속기의 이음 요소로 사용되며, 직경이 작은 볼러로 구성되는데 외부 충격으로 손상이 발생하면 베어링의 기능을 잃게 되며 재사용이 불가하다. 이러한 경우 신품 유니버설 조인트가 필요하게 되어 장갑차의 정비 시간과 비용이 증가하게 된다.

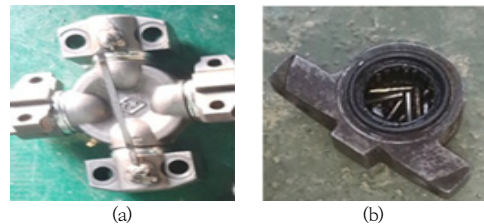


Fig. 1. Damage to needle bearing due to wire loss of universal joint

- (a) Universal joint wire missing
- (b) Damaged needle bearing

2.3 원인분석

2.3.1 특성요인도 분석

유니버설 조인트 와이어 탈락 원인분석을 위해 4M(사람(Man), 장비(Machine), 재료(Material), 방법(Method)) 기반의 특성요인도 분석을 Fig. 2와 같이 실시하여, 각각의 추정요인에 대하여 와이어 탈락 현상을 유발할 수 있는 인자를 개별적으로 분석하였다.

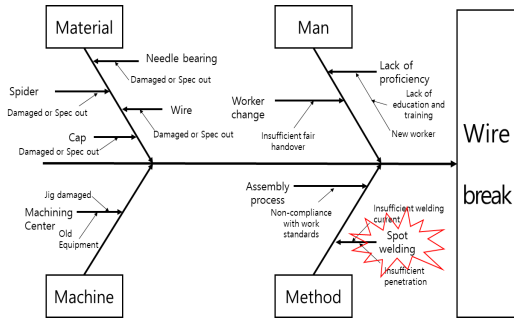


Fig. 2. Characteristic factor diagram analysis

4M 기반의 특성도 요인 분석 결과 재료(Material) 요인에서는 주요 구성품의 규격 불일치 및 외관 손상이 발견되지 않았으며, 사람(Man) 요인에서의 작업자 변경과 장비(Machine) 요인의 유지관리 사항에서 특이사항이 없었다. 그러나 방법(Method) 요인의 용접 공정 시, 스폿용접부 용입 불충분으로 인하여 와이어 탈락 현상이 발생하는 주요 원인으로 식별하였다.

이에 따라 현재까지 발생된 유니버설 조인트 와이어 탈락에 의한 캡 이탈 현상 이력을 분석한 결과, 정비를 위해 유니버설 조인트를 출력축으로부터 탈거하거나 장착하는 과정에서 발생된 충격에 의한 와이어 탈락 현상이 관찰되었으며 탈락 부위는 와이어-캡 간 스폿용접부에서 발생하였다.



Fig. 3. Before and after for spot on top of cap
(a) Before spot welding (b) After spot welding

스폿용접의 파단은 접합부에 생긴 너깃에서 발생하는 것이 아니라 너깃과 모재의 경계에서 발생하기 때문에[7] Fig. 3과 같이 와이어는 평면 막대, 캡 용접부는 곡면 형상으로 인하여 스폿용접 공정 간 용입 불충분에 의해 와이어가 탈락하는 현상이 발생할 수 있으며, 용입 불충분 정도는 작업환경에 따라 다를 수 있으므로 품질 불안정을 유발한 것으로 추정하였다.

2.3.2 스폿용접

특정 요인도 분석에 따라 유니버설 조인트 와이어 탈락의 원인으로 추정한 스폿용접은 저항 점용접으로도 불리는 저항용접의 한 종류로서 점용접 전극을 이용하여 판재를 고정시키고, 전류를 흐르게 하여 판재 내부에서 발생하는 저항 열을 이용하여 판재를 용융시켜 접합하는 용접으로 스폿용접 공정은 Fig. 4와 같다. 스폿용접은 용접전류, 가압력, 통전시간 3가지 요인에 따라 저항 열이 발생하는데 이를 Joule's heat 이라 하며, Eq. (1)과 같다.

$$Q = I^2 Rt \tag{1}$$

이러한 3가지 요인에 비례하여 줄열이 증가하게 되는데 용입 불충분 현상을 방지하기 위하여 스폿용접을 과도하게 실시할 경우 접합되는 와이어가 용해되어 접합강도가 약해질 우려가 있기 때문에, 스폿용접 공정 간 용접 전류, 가압력, 통전시간의 조절을 통한 와이어 이탈 방지는 제한되는 것으로 판단하였다[8]. 따라서 저항 열을 증가하여 용접 강도를 향상 시키는 방법으로 개선이 제한됨에 따라 캡의 곡면부를 평면 가공 후 용접 실시, 스폿용접부 너깃 크기를 충분히 확보하여 용접 강도를 향상 시키는 방안을 고려하였다.

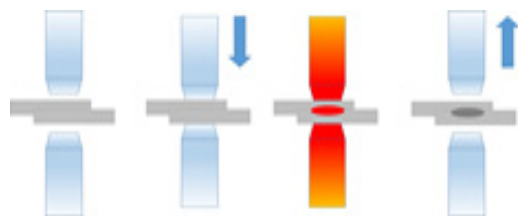


Fig. 4. Spot welding process mimetic diagram

3. 개선안 도출 및 제작

와이어 탈락 현상을 개선하기 위하여 기존 스폿 용접

강도를 향상시키는 방안과 와이어와 캡을 나사 체결하는 방안의 두 가지 개선안을 도출하였다.

첫 번째, 기존 스폿용접 강도를 향상하는 방안으로 와이어가 안착 될 수 있도록 캡 상단에 와이어 형상으로 자리 파기를 하여 와이어가 캡 상단에 접촉 면적을 확보하여 용입 불충분 현상을 해소할 수 있도록 Fig. 5와 같이 설계를 수정하였다. 설계 수정안을 유니버설 조인트에 반영하였을 때 예상되는 형상은 Fig. 6과 같으며, 이를 통하여 시제품을 Fig. 7과 같이 제작하였다.

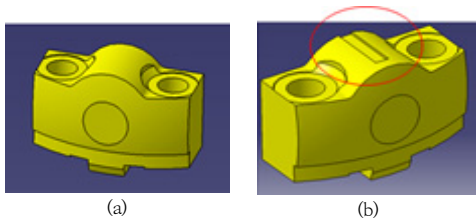


Fig. 5. Cap change universal joint shape
(a) Before change (b) After change

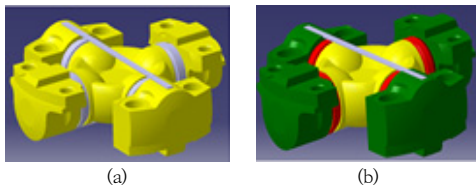


Fig. 6. Cap change universal joint shape
(a) Before change (b) After change

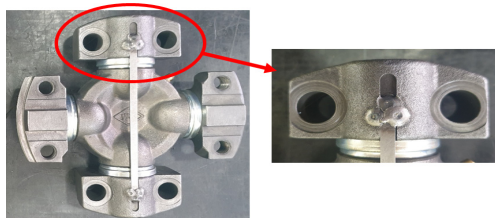


Fig. 7. Prototype shape

두 번째, 와이어-캡 나사 체결 방식을 적용하여 와이어와 캡을 고정시키기 위하여 와이어와 캡에 TAP 가공을 하였다. 하지만 고정도의 캡 상단부 TAP 가공시 가공용 드릴이 파손되고 캡 부위 나사 체결을 위한 기초 드릴 가공 중 캡 상단의 관통 현상이 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 발생하여 시제품 제작이 제한되었다. 관통 현상이 발생한 부분은 니들베어링이 접촉되는 부분으로 관통으로 인하여 발생 되는 Burr와 같은 이물질 때문에 니들베어링의 기능을 제대로 수행하지 못할 것이라고 판단하였다

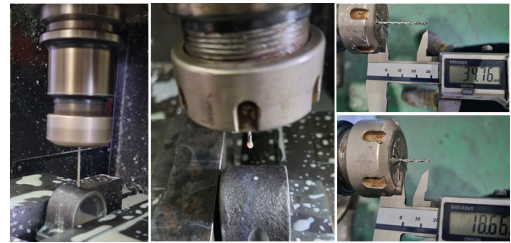


Fig. 8. Breakage of machining tools



Fig. 9. Cap top penetration

위와 같은 문제로 인하여 두 가지 개선안 중 캡 상단부의 와이어 형상 자리 파기 추가를 통하여 와이어와 캡 간의 확보된 접촉 면적으로 용입 불충분을 해소하여 와이어 탈락 현상을 개선하고자 하였다.

4. 개선 검증

4.1 와이어 고정력 증대

야전에서 다회 발생한 유니버설 조인트의 와이어 탈락은 정비작업 중 발생한 외력에 의한 것으로, 와이어 탈락 시작용한 외력 측정이 불가하여 고장재현시험은 제한되었다. 따라서 설계 변경 전의 유니버설 조인트(이하 “기존품”)와 설계 변경 후의 유니버설 조인트 시제품(이하 “개선품”)의 용접강도를 측정하여 와이어 고정력의 개선 정도를 확인하고자 하였다. 스폿용접부의 용접성, 즉 용접강도를 측정하기 위해서는 일반적으로 인장-전단시험이 가장 많이 사용되고 있다[10]. KS B 5541 시험방법을 준용하여 만능재료 시험기로 기존품과 개선품 유니버설 조인트의 와이어를 인장, 와이어가 탈락하는 순간의 인장력을 비교하였다. 시험 장비와 시험방법을 Table 2와 Fig. 10에 나타내었다[9].

Table 2. Tensile testing machine Specification

	Specification
Tension force	Max 10 kN
Tension speed	10 mm/min
Production	Shimadzu
Model	AG-10KNX PLUS



Fig. 10. Universal material testing machine

이를 위해 Fig. 11와 같이 유니버설 조인트를 고정시킨 상태에서 와이어를 인장할 수 있도록 시험용 치구를 제작하였으며, Fig. 12와 같이 만능재료시험기에서 와이어를 인장하여 스폿용접부에서 와이어가 탈락할 때의 인장력을 측정하였다.

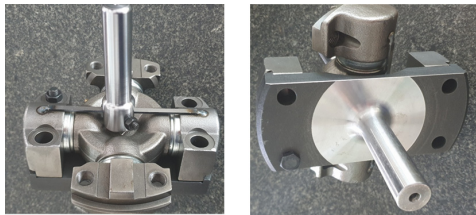


Fig. 11. Jig for wire welding strength confirmation test



Fig. 12. Wire welding strength confirmation test

와이어 용접 강도 확인시험은 기존품과 개선품을 각 3개씩 준비하여 유니버설 조인트의 전면부와 후면부의 와이어를 인장하여 스폿용접부에서 와이어가 탈락할 때의 인장력을 측정하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 기존품의 경우 최소 인장력 2.95 kN에서 스폿용접부에서 파단이 발생하였으나, 개선품은 최대 3.63kN의 인장력에서 와이어가 절손되어 기존품 대비 약 23 % 고정력이 향상 되었음을 확인 할 수 있었다. 또한 인장력의 평균값이 3.32 kN에서 3.47 kN 으로 향상, 표준편차는 0.26 에서 0.12 으로 줄었으며 Fig. 13과 같이 개선품의 스폿용접 품질 안정성 확보를 확인하였다.

Table 3. Table Wire welding strength confirmation test result

Sample	Result(kN)	broken Part	
Existing product (front)	#1-1	3.27	Spot welding part
	#1-2	3.56	Wire (wire breakage)
	#1-3	2.95	Spot welding part
Existing product (back)	#2-1	3.24	Wire (wire breakage)
	#2-2	3.21	Spot welding part
	#2-3	3.68	Wire (wire breakage)
Improvement product (front)	#1-1	3.63	Wire (wire breakage)
	#1-2	3.50	Wire (wire breakage)
	#1-3	3.57	Wire (wire breakage)
Improvement product (back)	#2-1	3.27	Wire (wire breakage)
	#2-2	3.41	Wire (wire breakage)
	#2-3	3.44	Wire (wire breakage)

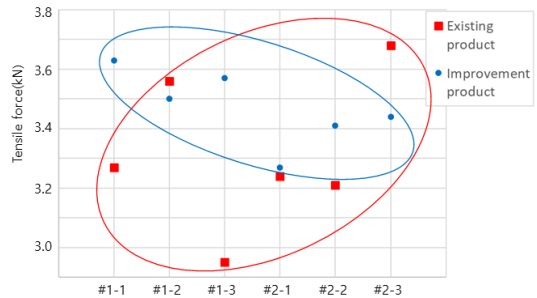


Fig. 13. Graph of strength confirmation test

4.2 체계장착시험

용접강도 확인시험을 통해 개선이 입증된 유니버설 조인트를 3종류의 장갑차에 장착하여 좌측 및 우측 추진축에 개선품 유니버설 조인트의 체계장착시험을 실시하였다. 체계장착시험 확인결과, Fig. 14와 같이 유니버설 조인트 와이어 탈락은 발생하지 않았다.



Fig. 14. System installation test result

5. 결론

본 연구는 장갑차의 엔진에 생성되는 동력을 종감속기 및 차체로 전달하는 축 이음요소인 유니버설 조인트 내 와이어 탈락 현상의 개선에 관한 것이다.

고장원인 분석 결과를 바탕으로 와이어가 용접되는 캡상단 형상 변경안을 도출하였으며, 시제품을 제작하여 와이어 탈락 현상의 주요 원인으로 추정된 용입 불충분 현상 개선을 확인하였다.

정량적인 개선확인을 위하여 만능재료시험기를 이용하여 인장시험을 실시하였고, 기존 2.95 kN의 용접강도를 3.63 kN으로 약 23 % 개선효과를 확인 할 수 있었으며, 체계 장착시험을 통하여 개선품에 대한 체계 적합성을 입증하였다. 이러한 효과로 장갑차를 운용하는 사용자의 만족도 향상 및 총 수명주기 증대 등 무형효과와 정비비 절감 등의 유형효과가 기대된다.

본 연구는 유니버설 조인트 와이어 탈락의 원인으로 식별한 스폿용접부의 용접강도 증대를 바탕으로 품질개선 내용을 입증하였으며, 와이어 탈락을 유발하는 외력의 영향성에 대한 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] S. B. Ahn, 2012-2013 ROK MILITARY WEAPON, p.518, DEFENSE TIMES, 2010, p28.
- [2] Macielinski, J. W., "The Design and Selection of Universal Joints", *The Journal of Automotive Engineering*, Vol.1, No.3, pp.14-18, 1970.
- [3] Evernden, H. I. F., "The Propeller Shaft or Hooke's Coupling and the Cardan Joint", *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol.2, No.1, pp.100-110, Jan. 1948.
DOI: https://doi.org/10.1243/PIME_AUTO_1948_000_013_02
- [4] J. J. Byung, J. K. Sup, J. W. Lee, "Effects of Plate Thickness and Weld Size on the Strength of Fillet Welded Lap Joints", *Journal of Korean Society of steel construction*, Vol.18, No.3, pp331-337, June 2006.
- [5] J. D. Kim, G. H. Myoung, J. Suh, "Butt Weldability of Shipbuilding Steel AH36 Using Laser-Arc Hybrid Welding", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.40, No.10, pp901-906, Oct. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2016.40.10.901>
- [6] J. T. Jeon, "A Study on the Mechanical Properties of Gas Pressure Welded Splices of Deformed Reinforcing Bar", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.11, No.4, pp520-526, Dec. 2015.

DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2015.11.4.520>

- [7] E. G. Na, S. H. Osh, J. K. Kim, Y. J. Kim, Study on characteristics of spot weld region for the car body, *The Korean society of automotive engineers*, pp43-46, May, 2012, Available From:
<http://www.riss.kr/link?id=A60136677>
- [8] N. S. Hwang, "A Study of Improving the Tensile Strength for Spot Welding", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol.6, No.1, pp 43-48, February 2003.
- [9] J. M. Han, A Slip Test for Prestressing Anchorage by Using U.T.M, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.4, No.2, pp171-176, November 2000, Available From:
<http://www.riss.kr/link?id=A107165991>

주 용 원(Yong-Won Joo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 창원대학교 기계설계공학전공 (공학사)
- 2012년 12월 ~ 2014년 4월 : LG 전자 에어컨연구소 연구원
- 2015년 1월 ~ 2022년 6월 : 퍼스텍 주식회사 선임연구원
- 2022년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 유공압

박 동 민(Dong-Min Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 창원대학교 기계공학전공 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 2016년 9월 : Sulzer Pump Korea 설계팀 엔지니어
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 열역학

김 윤 석(Yun-Seok Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 동의과학대학 산업 시스템경영학과 (준학사)
- 2022년 2월 : 동아대학교 산업공학전공 (공학사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 공과대학원 기계부품시스템전공 (공학석사)

- 2017년 12월 ~ 현재 : (주)우진정밀 품질경영팀 부장

<관심분야>

국방, 기계/재료, 자동차