

자주포용 탄약 운반 궤도차량 도어힌지 용접부 구조강도 해석

강현재*, 김병호*[#], 김병현*, 서재현*

*국방기술품질원

Structural Weld Strength Analysis on Door Hinge of Field Artillery Ammunition Support Vehicle

Hyeon-Je Kang*, Byeong-Ho Kim*[#], Byung-Hyun Kim*, Jae-Hyun Seo*

*Defense Agency for Technology and Quality

(Received 22 February 2016; received in revised form 1 April 2016; accepted 4 April 2016)

ABSTRACT

This study analyzed the structural weld strength for a door hinge for a field artillery ammunition support vehicle. In order to determine the optimal conditions, we measured the modal analysis and analyzed the leg length of a rear door hinge. From these methods, we acquired the vibration frequency of normal mode and the optimal welding leg length conditions. It was possible to obtain a structural stability for a rear door hinge of the field artillery ammunition support vehicle. In the future, this should be used as a reference source for the weld strength analysis of high vibration and high weight structures for another welding system design.

Key Words : Weld Strength(용접 강도), Door Hinge(도어 힌지), Structural Stability(구조 안전성), Leg Length(용접 각장)

1. 서 론

자주포용 탄약 운반 궤도차량은 탄 및 장약의 보급을 위해 기존 차륜형 운반 차량의 단점인 야지 기동성과 생존성을 향상시키고, 자동화된 탄약 보급 장치를 탑재한 군 전용의 장비이다. 이에 따라

일반적으로 민수에서 사용되는 자동차와는 달리 포장된 도로 보다 훨씬 더 가혹한 환경인 비포장도로 및 야지나 습지 등의 가혹한 조건에서 운행하기 때문에 차체 및 주변 용접부에는 큰 응력이 집중적으로 가해지게 된다. 특히, 차체 구조물과 140kg 이상의 높은 중량을 가진 후방 도어를 연결하고 있는 힌지의 용접부에는 극심한 진동으로 인하여 매우 강한 응력이 발생하게 되므로, 응력 상태를 고려한 해결방법을 필요로 하였다. 이를 위하여 구조적 안전성 및 내구성 평가를 위해 사용되는 유한요소해

Corresponding Author: kjbshh@dtqa.re.kr

Tel: +82-55-279-4035, Fax: +82-55-279-4780

석범(FEM)을 통하여 용접부 구조 강도를 해석하고자 하였다.

본 논문에서는 탄약 운반 궤도차량 도어 힌지를 구조적으로 평가하는 방법과 그 결과에 대해서 검토하였고 수치해석 방법인 유한요소해석법과 시험을 통하여 이를 검증하였다.

차체 후방 도어는 정상적으로 열고 닫는 작동 시, 손에 의해 가해지는 힘이나 도어의 차체 하중, 야지 및 비포장도로의 운행 등에 따라 차체와 도어를 연결하는 힌지 용접부에 응력이 발생하며, 힌지부는 큰 충격을 받게 된다.

이러한 충격에 의해 가해지는 응력으로 인해 부품의 수명 및 성능이 저하될 수 있다. 일반적인 자동차 도어 힌지의 형상에 대한 구조해석은 연구가 진행되었지만, 군용 궤도차량에 대상으로 가혹한 환경에서의 힌지 용접부 구조강도를 분석 및 평가하는 연구는 현재까지 활발히 이루어지지 않았다 [1~6].

따라서 본 연구는 탄약 운반 궤도차량의 실제 주행 시 속도에 따른 진동데이터를 측정하여 힌지의 응력 및 변형량에 대한 구조 해석을 수행 하였다. 또한, 힌지 용접부 각장 길이 변화에 따른 응력 상태를 검토하고 구조적 안전성을 평가하였다.

CATIA 기반 모델링을 실시하였으며, ANSYS 프로그램을 사용하여 응력 해석을 수행하였다. 실제 탄약운반 궤도차량의 힌지를 모델링하여 재료 물성치를 정의하였고, 유한요소 모델링, 하중조건과 구속조건의 정의, 모드분석 및 해석 결과를 검토하는 과정을 거쳐 최종적으로 힌지 용접부 각장길이의 최적 조건을 검토하였다.

2. 모델링 및 경계조건

본 연구에서는 차체 후면판, 뒷문 및 뒷문 힌지에 대해 실제 주행 시 발생하는 3축 방향(진행방향, 폭방향, 수직 방향)에 대한 진동데이터를 측정하여 해석하였다. 모델의 형상은 실제 차체 후면판을 모델링하였으며, 이를 ANSYS로 해석하였다. Fig. 1은 실제 탄약 운반 궤도차량의 후면부를 나타내고 있고, Fig. 2는 힌지의 용접부를 나타내고 있다. 이

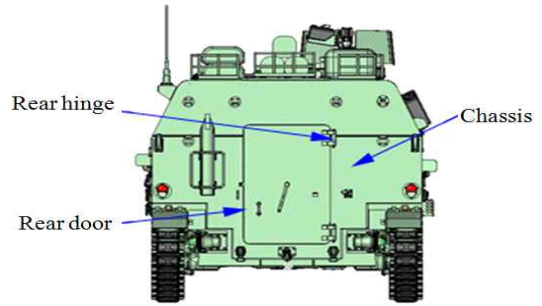


Fig. 1 The rear of field artillery ammunition support vehicle

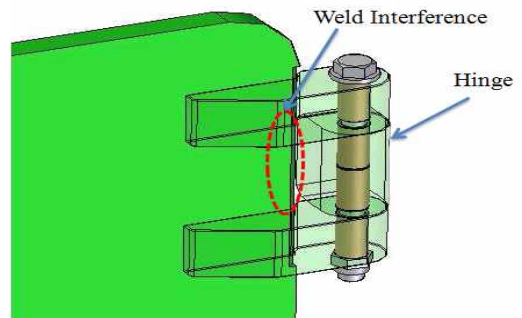


Fig. 2 The door hinge and weld interference

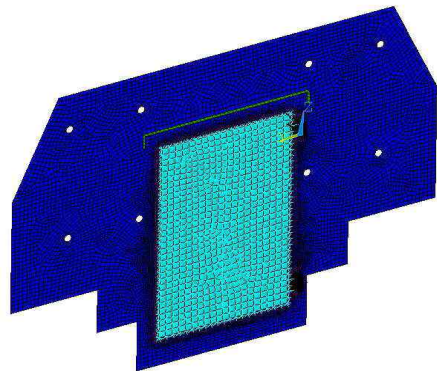


Fig. 3 Modeling of the rear side

때, 힌지 용접부의 상/하부의 각장은 15mm로 설계되어 있으나, 용접 구조물의 특성상 용접 변형 및 누적 공차 등으로 Fig. 2에서 보이듯이 간섭이 간헐적으로 발생할 수 있다. Fig. 3는 본 모델을 불러내어 기본적으로 해석을 수행하기 전에 Mesh 작업을

Table 1 The frequency data of field artillery ammunition support vehicle

Test Phase	Wide band (5~500Hz) (g ² /Hz)	Narrow band #1			Narrow band #2			Narrow band #3			rms-g level
		BW(Hz)		Ampl	BW(Hz)		Ampl	BW(Hz)		Ampl	rms-g
		Start	End	(g ² /Hz)	Start	End	(g ² /Hz)	Start	End	(g ² /Hz)	
Vertical axis(90minutes per test phase)											
V01	7.43E-04	27.47	35.92	1.92E-03	54.94	67.81	5.20E-03	123.42	170.86	1.09E-03	0.68
V02	1.45E-03	41.16	49.35	3.95E-02	82.32	98.70	6.80E-03	123.34	147.88	4.40E-03	1.11
V03	1.40E-03	58.21	69.79	7.66E-02	116.42	139.58	1.19E-02	174.42	209.14	7.24E-03	1.45
V04	2.03E-03	69.22	85.43	2.28E-02	141.52	175.87	1.34E-02	-	-	-	1.33
V05	3.25E-03	87.21	104.57	5.27E-02	168.29	209.14	2.16E-02	-	-	-	1.81
Transverse axis(90minutes per test phase)											
T01	6.29E-04	27.47	32.94	5.16E-03	54.94	65.88	2.08E-03	82.32	98.70	1.50E-03	0.72
T02	1.52E-03	38.85	47.95	8.74E-03	82.32	101.59	4.07E-03	123.34	147.88	1.55E-02	1.11
T03	1.98E-03	56.16	71.84	1.01E-02	116.42	143.68	1.72E-02	174.42	209.14	8.52E-03	1.33
T04	3.03E-03	73.24	87.93	3.14E-02	138.44	170.86	2.55E-02	-	-	-	1.64
T05	5.58E-03	87.21	104.57	8.86E-02	-	-	-	-	-	-	2.07
Longitudinal axis(90 minutes per test phase)											
L01	2.21E-03	27.47	42.71	2.33E-02	54.94	85.43	3.44E-02	119.00	161.27	3.86E-03	1.59
L02	6.21E-03	41.16	49.35	6.82E-01	58.21	69.79	1.39E-02	82.32	98.70	3.23E-02	3.14
L03	5.42E-03	32.67	39.17	1.78E-02	56.16	76.11	6.17E-01	116.42	139.58	1.17E-01	4.28
L04	8.23E-03	30.83	36.97	9.84E-02	58.25	82.52	1.23E-01	138.44	166.00	1.76E-02	2.81
L05	1.50E-02	38.85	46.58	4.25E-02	58.21	69.79	3.82E-02	87.21	104.57	1.05E-01	3.10

한 모습이다. 이때, 요소 수는 14,957개 이며, 절점 수는 14,592개로 이루어졌다.

본 연구에서는 구조해석을 위하여 주행 진동 하중(랜덤하중)을 인가하였고, Table 1와 같이 탄약 운반 궤도차량에 감지 센서를 부착하여 주행 진동데이터(차량 뒷문)를 실제로 측정하였다.

Table 2은 후면판 및 힌지의 모델링에 대한 소재 물성치를 나타내고 있으며 뒷문 힌지는 알루미늄 합금 A5052P-H32을 사용하였고, 차체는 알루미늄 장갑판재 A5083-H131, 용접봉은 알루미늄 합금 A5356을 사용 하였다. 설계기준은 주행 속도 별 하중조건에 대해 안전율 1.5이상을 목표로 하였고, Fig. 4에서 보여주듯 차체 후면판 및 8개의 홀 부위(장약 적재장치) 연결부에 변위 구속 조건을 적용하였다. 또한 차체 후면판과 뒷문은 Beam 요소를 이용하여 차량 진행/폭/수직 방향으로의 강성을 부여하였다.

3. 해석결과

우선적으로 차체 구조물에 대한 분석을 수행하기

Table 2 Material properties

Position	Material	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Weld strength (MPa)
Rear Hinge	A5052P-H32	214.8	154.8	61.9
Chassis	A5083-H131	310.0	241.7	124.0
Welding rod	A5356	275.6	-	82.7

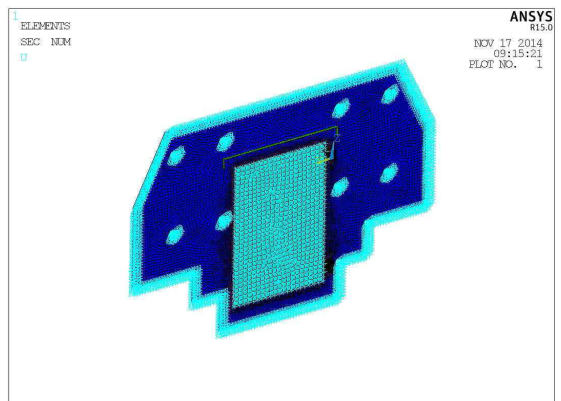
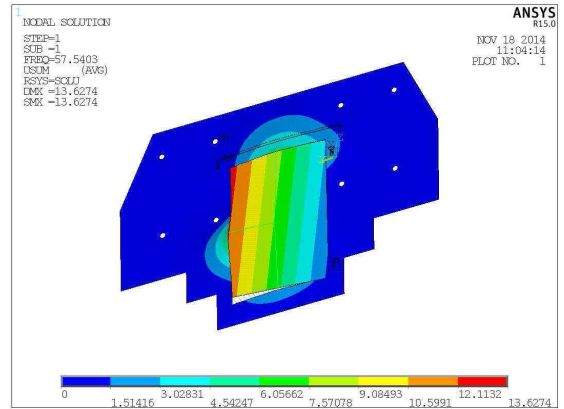


Fig. 4 Displacement constraint condition of the rear side

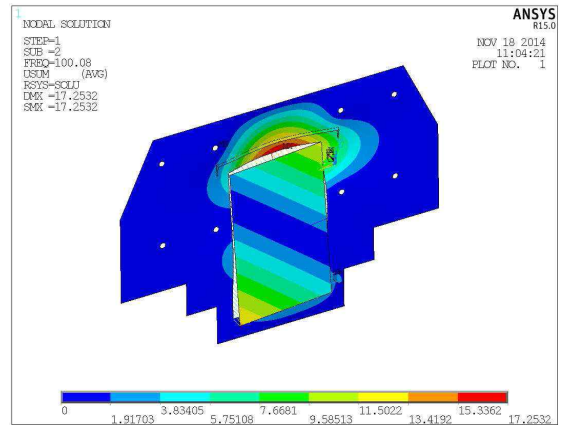
전에 모달 해석(Modal analysis)을 실시하였다. 모달 해석 또는 고유 진동수 해석(Natural frequency analysis), 자유 진동 해석(Free vibration analysis)은 구조물이 갖고 있는 고유 진동수와 각 고유 진동수에서의 변형형상(모드형상, Mode shape)을 파악하여 구조물의 공진여부와 진동에 의한 변형형상을 예측하는 해석으로, 만약 구조물 자체의 고유 진동수와 외부하중의 작동 주파수가 일치하게 되면 구조물에 공진(Resonance)이 발생하게 된다. 구조물에 공진이 발생하면 진동과 소음이 급격하게 커지고 궁극적으로 구조물이 파괴될 수도 있다.

그러므로 야지나 비포장도로를 주로 주행하는 군용 궤도차량의 경우 진동이나 주기하중이 지속적으로 작용하는 구조물이기 때문에 반드시 모달해석을 수행하여 공진의 발생 가능성에 대한 검토가 수반되어야 한다. 그리고 모달해석을 통해 구조물의 공진이 예상되면 구조물의 고유진동수가 작동주파수 대비 1/3 이하로 낮아지거나 3배 이상 커지도록 설계를 변경할 필요가 있다. 모달해석은 모든 동해석의 기본이 되는 해석이며, 특히 기계구조물의 소음 진동 특성(NVH: Noise, Vibration, and Harshness)을 파악하는데 대단히 중요하다. Fig. 5은 차체 후면판 및 뒷문의 모드 형상(Mode shape)을 나타내고 있다. 모드 형상은 각 고유진동수에서 구조물의 변형형상, 즉 진동하는 형상을 의미하며, Fig 6(a)와 같이 모드 형상은 구조물이 가장 쉽게 변형할 수 있는 형상부터 저차모드(1st)를 가지므로, 고차모드(2nd, 3rd)로 갈수록 구조물에서 해당 모드형상이 발생할 가능성은 낮아질 것이라고 판단할 수 있다. 즉, 계산된 모드형상을 파악함으로써 설계에서 영향이 큰 고유진동수와 반대로 영향이 작은 고유진동수를 파악할 수 있으며 모달해석 결과 1차는 57.54Hz, 2차는 100.08Hz, 3차는 142.71Hz로 분석되었다.

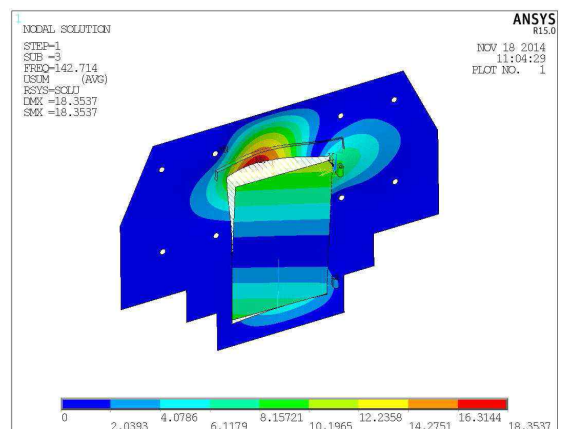
그리고 차체 뒷문 힌지 주변에 부가되는 반력을 도출하기 위해 실제 주행 시에 3축 가속도 센서를 설치하여 탄약 운반 궤도차량의 주행 속도(10km/s~50km/s) 범위에서 가속도 값을 측정하였고, 주행 속도 별 측정된 가속도를 ANSYS에 입력하여 각 3(x, y, z)축에 대한 F(Force), M(Momentum)를 해석을 통해 구하였다. 이 때 구해진 F 및 M을 자중을 고려하여 정규분포의 1 σ (표준편차) 기준으로 하



(a) Mode 1, 57.54(Hz)



(b) Mode 2, 100.08(Hz)



(c) Mode 3, 142.71(Hz)

Fig. 5 Mode Analysis of the rear side

Table 3 Reaction force of driving direction(1 σ , Self loading)

Classification		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
Upper Hinge	Fx	111.87	194.94	406.86	160.39	169.93
	Fy	147.12	165.86	416.64	204.44	196.34
	Fz	74.72	89.26	95.79	86.38	108.82
	Mx	5857.78	8955.13	11815.27	7249.98	7916.75
	My	2990.12	5353.92	7192.87	4112.36	5136.12
	Mz	7504.16	9075.13	23877.78	10620.99	8633.92
Bottom Hinge	Fx	91.14	165.40	262.84	145.61	185.69
	Fy	161.90	187.27	471.39	224.04	183.52
	Fz	84.83	101.60	126.56	100.22	137.52
	Mx	7835.48	10764.30	18981.59	9899.49	14070.59
	My	4914.82	7427.14	13448.04	6713.67	10689.83
	Mz	7587.31	9400.72	24049.64	10652.67	8205.04

Table 4 Reaction force of width direction(1 σ , Self loading)

Classification		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
Upper Hinge	Fx	7.18	11.06	12.66	15.24	20.89
	Fy	98.44	125.48	137.76	157.90	194.34
	Fz	63.50	64.93	65.86	66.62	68.71
	Mx	3455.45	3586.91	3671.42	3742.26	3904.73
	My	1216.21	1311.12	1390.27	1423.91	1547.83
	Mz	3172.78	4018.94	4403.62	5034.82	6177.50
Bottom Hinge	Fx	13.09	19.84	23.76	27.87	37.32
	Fy	91.77	115.20	125.65	143.00	175.37
	Fz	65.61	67.09	67.85	68.84	71.08
	Mx	3526.18	3748.19	3842.02	3985.63	4305.58
	My	1478.29	1625.40	1694.32	1784.09	2006.91
	Mz	2881.57	3549.84	3849.56	4340.97	5259.60

였고, Table 3~5는 각각 상부, 하부 힌지 블록의 3축 방향인 주행 방향, 폭 방향 및 수직 방향에 대한 반력을 나타내고 있다.

최종적으로 힌지 용접부 분석은 Table 3~5에서 해석한 값인 F 및 M을 이용하여 속도에 따른 상부, 하부 힌지의 응력을 계산하였고, 실제 제작되는 용접 각장 15mm 기준과 최소 기준인 10mm에 대해 정규분포 3 σ 를 기준으로 분석하였다.

Table 6~8에서 보여주듯이 실제 용접 하중 작용시 상/하부 힌지 용접부의 최대 응력은 2.96으로 안전율 2.14수준으로 설계기준(안전율 1.5이상)을 만족하고 있다. 그러나 대형 용접구조물에서는 용접

변형 및 누적 공차등으로 힌지 용접시 조립간섭이 발생 할 수 있으므로, 사용 환경(비포장 도로 및 야지)을 고려한 해석으로 용접각장 기준을 설정하는 것이 필요시 되었다.

이 때, 용접 각장은 안전율을 고려하여 설계되어야 함으로 최소 10mm를 기준으로 했을 때 분석결과 Table 9~11와 같다. 15mm 용접 각장 보다 집중된 최대응력은 증가 하였지만, 안전율은 1.67수준을 만족하게 됨으로 차체 구조물 힌지 용접부 각장은 최소 10mm이상 되어야 주행속도(진동수)의 변화에도 설계기준(안전율 1.5이상)을 만족하는 것으로 판단된다.

Table 5 Reaction force of vertical direction(1 σ , Self loading)

Classification		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
Upper Hinge	Fx	7.87	10.86	10.73	12.80	16.23
	Fy	102.40	124.36	125.16	138.37	163.59
	Fz	92.63	106.69	108.94	138.37	131.02
	Mx	4864.01	5652.55	5881.09	6096.36	7036.33
	My	1816.21	2126.55	2121.03	2327.32	2669.27
	Mz	3318.52	4018.91	4053.61	4463.76	5270.23
Bottom Hinge	Fx	7.48	10.13	10.05	11.85	14.97
	Fy	95.33	114.37	115.01	126.54	148.38
	Fz	96.47	111.28	113.48	120.14	136.81
	Mx	4513.88	5207.89	5474.16	5595.23	6470.33
	My	2125.13	2494.57	2492.14	2727.56	3136.36
	Mz	3089.90	3680.64	3707.66	4055.93	4737.45

Table 6 Stress of hinge weld region(vibration of driving direction, Leg Length 15mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	10.0	11.9	61.9	5.17
20	14.0	15.7		3.94
30	22.4	29.0		2.14
40	12.9	15.4		4.00
50	13.8	19.5		3.18

Table 7 Stress of hinge weld region(vibration of width direction, Leg Length 15mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	6.3	6.1	61.9	9.77
20	6.9	6.8		8.86
30	7.3	7.1		8.47
40	7.7	7.6		7.97
50	8.6	8.6		7.17

Table 8 Stress of hinge weld region(vibration of vertical direction, Leg Length 15mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	8.2	7.6	61.9	7.53
20	9.6	8.9		6.44
30	9.8	9.2		6.28
40	10.3	9.6		5.94
50	12.0	11.0		5.14

Table 9 Stress of hinge weld region(vibration of driving direction, Leg Length 10mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	12.9	15.3	61.9	4.03
20	17.9	20.1		3.07
30	28.6	37.1		1.67
40	16.4	19.8		3.12
50	17.6	24.8		2.49

Table 10 Stress of hinge weld region(vibration of width direction, Leg Length 10mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	8.1	8.0	61.9	7.64
20	8.9	8.8		6.92
30	9.4	9.2		6.61
40	9.9	9.8		6.22
50	11.0	11.0		5.59

Table 11 Stress of hinge weld region(vibration of vertical direction, Leg Length 10mm)

Velocity (km/h)	Upper Hinge Stress (MPa)	Bottom Hinge Stress (MPa)	Weld Yield Strength (MPa)	Safety ratio
10	10.4	9.8	61.9	5.90
20	12.2	11.4		5.05
30	12.6	11.8		4.92
40	13.3	12.3		4.65
50	15.3	14.3		4.02

4. 결론

본 연구는 탄약 운반 궤도차량의 도어 힌지를 구조적으로 평가하는 방법과 그 결과에 대해서 검토하였고, 수치해석 방법의 하나인 유한요소해석법(FEM)을 통해 도어 힌지 용접부 각장을 최적화 하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

1. Modal 해석을 통해 차체 후면판의 고유 진동수에 대한 해석결과를 얻었다.
2. 차체 후면판에 용접된 뒷문 고정용 상/하부 힌지는 주행 진동 하중(3σ)에 대해 용접각장 15mm인 경우 최대 응력, 안전율 2.14 수준으로 설계기준(1.5이상)을 만족 하였다.

3. 차량 후면판과 용접변형 및 누적공차 등으로 인한 간섭을 피하기 위해 뒷문 힌지의 용접각장의 최소 길이는 10mm, 최대 응력 3.79로 안전율 1.67수준으로 설계 기준(안전율 1.5이상)을 만족 하여 용접 시 최소한 용접각장 10mm이상으로 하여 제작하여도 구조적으로 안정한 것으로 판단된다.

향후 탄약 운반 궤도차량 뿐만 아니라 극한의 조건(고중량, 고진동) 및 가혹한 환경(비포장 도로 및 야지 운행)에서 사용하는 힌지 또는 연결부 용접 각장에 대해서는 지속적인 연구가 더 필요하며, 군용 궤도차량에서의 용접부 시스템 설계에 유용한 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

“ 논문은 국방기술품질원의 지원을 받아 작성하였음.”

REFERENCES

1. Cho, J. U. and Han, M. S., "Structural Analysis on Door Hinge of Car", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 2, pp. 33-39, 2010.
2. Han, M. S. and Cho, J. U., "Study on Structural Analysis of Front Axle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 65-71, 2011.
3. Kim, S. K. and Lee, J. W., "Analytical Study on the Structural Strength of an Air Compressor for Main Engine Starting of 22000 TEU Class Container Ships", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 60-67, 2015.
4. Ye, S. D. and Min, B. H., "A Study on the Development of Friction Hinge with Automatic Closed Function", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 1, pp. 107-114, 2014.
5. Jung, J. W, Kim, K. P, Ji, H. C. and Moon, T. S., "Design Improvement of the Driving Bevel Gear in Transmissions of a Tracked Vehicle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 1-6, 2015.
6. Park, J. K. and Lee S. J., "A Study on the Contour Design in the Hinge Mechanism for a Folder of a Mobile Phone", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 25, No. 9, pp. 86-94, 2008.