

야지 차량용 No Spin Differential의 평가방안 개발 및 시험평가에 관한 연구

편영식¹⁾ · 장영도²⁾ · 박정현¹⁾ · 조인호³⁾ · 이영춘⁴⁾

선문대학교 기계및제어공학부¹⁾ · 인천기능대학 컴퓨터응용기계설계과²⁾ · 선문대학교 대학원³⁾ · 진흥기계(주)⁴⁾

A Study on Development of Test Methodology and Test of No Spin Differential for Off-road Vehicle

Youngshik Pyoun¹⁾ · Youngdo Jang^{*2)} · Jeonghyeon Park¹⁾ · Inho Cho²⁾ · Youngchun Lee³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Sun Moon University, Chungnam 336-708, Korea

²⁾Department of Mechanical Design, Incheon Polytechnic College, Incheon 403-719, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Sun Moon University, Chungnam 336-708, Korea

⁴⁾Jinheung Machinery Co., Geongnam 641-020, Korea

(Received 5 October 2004 / Accepted 29 April 2005)

Abstract : Two No Spin Differential(NSD) models were benchmarked for a project of Dual-Use Technology. The Axiomatic approach was utilized to evaluate two models and to derive an evolutionary design from the evaluated results. Test methodology is developed and used to evaluate the mobility, steerability, durability and noise of the newly developed sample. The test results of NSD sample on the test methodology are very positive regarding functional performances.

Key words : Test methodology(평가방안), Mobility test(기동성시험), Steerability test(조향성 시험), Durability test(내구성시험), Noise test(소음시험), No Spin Differential(NSD)

1. 서론

NSD(No Spin Differential)는 자동차가 진흙이나 웅덩이에 빠져도 미끄러지지 않고 쉽게 탈출할 수 있도록 편심율이 100%로 설계된 시스템으로, 미국 및 러시아에서는 1960년대부터 개발하여 군용 트럭과 농기계와 같이 특수지형에 사용되는 차량에 사용하여왔다.¹⁾ 우리나라에서도 험로 및 악로에서의 전술임무 수행 능력을 극대화시키기 위한 NSD의 수요는 날로 증가하고 있으나 방위산업기술영역에 있는 NSD는 선진국으로부터의 기술이전이 어려워 전량 수입에 의존하고 있었다. 국산 고유설계기술

및 생산기술 확보를 위해 민군 겸용기술 사업과제인 “야지차량의 미끄럼 제한 차동장치 개발에 관한 연구”로 산업자원부로부터 1999년도에 선정되어 3년에 걸쳐 개발되었다.^{2,3)}

선진국에서 사용하고 있는 두 개의 NSD 모델을 입수하여 공리적 접근을 이용한 설계평가를 실시한 결과, 상위단계에서는 기능적 요구사항(FRs :조향성 향상, 소음의 감소 및 기동성 향상)과 이를 만족시키기 위해 선정된 설계요소(DPs: 홀드아웃링 구조, 치형 형상 및 작동메커니즘)의 관계를 표시하는 설계행렬이 삼각행렬로써 독립의 공리를 만족하는 설계로 평가되었다. 그러나 하위단계에서는 세 종류의 기능적 요구사항과 설계요소를 연결하는 설계행렬이 모두 중복설계행렬로서 독립의 공리를 만족

*To whom correspondence should be addressed.
jyd@kopo.or.kr

시키지 못하였다.

따라서 개선설계과정에서 독립의 공리를 만족하도록 설계요소를 변경하였으며, 이렇게 선정된 설계요소와 공정변수를 연결하는 설계행렬도 독립의 공리를 만족할 수 있도록 선정되었다. 공정변수의 값은 설계요소와 기능적 요구사항을 가장 만족시킬 수 있는 값으로 개선하였다.

NSD의 개선설계 목표 달성여부를 확인하기 위한 평가방법 및 평가기준은 미국 및 한국 국방규격에도 규정되어 있지 않다. 본 연구에서는 기존의 군수용 트럭 성능평가방안을 기본 자료로 활용하여 NSD의 평가방법 및 평가기준을 제시하고자 하며, 동 평가방법을 활용하여 평가한 시험결과를 분석하여 제시하고자 한다.

2. NSD의 평가방안 개발

NSD의 시험평가방안은 러시아나 미국의 공급업체에서도 장착방법과 작동여부를 수동으로 평가하는 방법을 제외하고는 시험평가 방법이나 기준을 제시하지 않고 있다.

그러므로 고유설계기술 확보의 핵심요소인 NSD의 성능평가방안은 군수용 트럭 성능평가 방안인 국방규격을 기본 자료로 활용하였고, 공리적 접근을 통한 개선설계 과정에서 도출된 설계기준과 설계평가방법을 활용하여 개발하였다. 야지 차량용 NSD 개발목표는 현재 우리 군에서 사용하고 있는 기존 NSD(A 모델)를 새로 개발한 시험평가방안에 의거 시험 평가한 결과를 기준으로 하여 +5%범위로 설정하였다.

2.1 작동성시험 평가방안

NSD의 작동성 시험은 차축에 조립된 NSD가 정상적으로 작동하는지 여부를 평가하는 예비시험이다. 시험 속도기준은 국방규격에 의거 Table 1과 같이 규정하였다.⁴⁾ 시험평가방법은 좌·우측 바퀴의 회전수 차를 발생시켜서 회전수가 빠른 쪽의 클러치가 분리되는지 여부와 좌·우측 바퀴의 회전수를 같도록 조정할 경우 NSD가 다시 결합되어 정상적으로 작동되는지 여부를 육안으로 확인하는 것이다.

Table 1 Running speed condition of NSD operation test

도로 조건	주행속도 조건	비고
최저속도	4 km/h 이하	기어 1단
야지도로	4~10 km/h	기어 1~2단
비포장	10~32 km/h	기어 2~3단
포장도로	32 km/h 이상	기어 3~4단
최고속도	80 km/h 이상	기어 4단

2.2 기동성시험 평가방안

NSD의 기동성시험 평가방안은 자동차가 높지대에 빠진 경우 NSD가 신속히 작동하여 빠져나올 수 있는지 여부를 평가하는 시험이다. 이는 높지대나 빙판길에 빠진 경우에 해당되므로 저속기어(1~2단)의 주행속도에 해당하는 4~10km/h 에서 시험하도록 Table 2와 같이 규정하였다. 시험평가 방법은 좌·우 바퀴가 동일한 속도로 전진 중에 한쪽 바퀴에 부하를 주어 해당 바퀴의 회전수를 급격히 감소시킨다. 이때 양쪽 바퀴 회전수 차에 의하여 반대편 클러치가 분리되어 자유상태가 되어야 한다. 분리된 후에는 직진할 때의 역할을 수행할 수 있도록 부하를 부여한 쪽의 차축 회전수를 서서히 증가시켜 좌·우측 차축 회전수가 같아지도록 한다. 이때 NSD가 결합할 때까지 소요시간과 결합시의 차축 회전수 및 토크의 차가 기동성을 평가하는 기준이 된다.

Table 2 Mobility test condition of NSD

도로조건	시험 속도조건	비고
야지도로	4~10 km/h	기어 1~2단

야지 차량용 NSD의 기동성 개발목표치는 Table 3과 같이 현재 우리 군에서 사용하고 있는 기존 NSD(A 모델)를 상기 시험방법 및 시험 속도(9.8km/h)에 의거 시험한 결과치의 +5%이내로 정하였다.

Table 3 Development specification of mobility test

시험항목	개발 목표치 (A 모델시험+5%이내)	비고
작동시간(sec)	5.51+5%이내	
차축rpm 차	28.25+5%이내	
토크차	156.15+5%이내	

2.3 조향성 시험 평가방안

자동차가 저속에서는 대부분 미끄러짐 현상 없이 최소의 반경으로 회전할 수 있기 때문에 비교시험 시 뚜렷한 차이를 발견하기 어려웠다. 그러므로 조향성 시험 속도는 Table 4와 같이 32km/h 이상의 포장도로 주행속도로 규정하였다. 평가방법은 급커브 길을 코너링 하는 경우를 가정하여 한쪽 바퀴에 회전수를 급격히 증가시켜 회전수 차에 의하여 반대 방향 클러치가 분리되어 자유 상태로 코너링을 할 수 있는지 여부를 시험하고, 좌·우측 회전수가 같아질 경우 NSD가 재결합되어 직진 주행하는 역할을 원활하게 수행하는지를 시험하였다. 그러므로 평가기준은 한쪽 바퀴 회전수를 증가시켜 NSD가 분리될 때부터 재결합 시 까지 소요시간과 차축 회전수 및 토크의 차가 조향성을 평가하는 기준이 된다.

Table 4 Steerability test condition of NSD

도로조건	시험속도 조건	비고
포장도로	32km/h 이상	기어 3~4단

야지 차량용 NSD의 조향성 개발목표치는 Table 5와 같이 현재 우리 군에서 사용하고 있는 기존 NSD (이하 A 모델)를 상기 시험방법 및 시험 속도 (39.1km/h)에 의거 시험한 결과치의 ±5%이내로 정하였다.

Table 5 Development specification of steerability test

시험항목	개발 목표치 (A 모델 시험+5%이내)	비고
작동시간(sec)	6.62+5%이내	
차축rpm 차	36.00+5%이내	
토크 차	36.3+5%이내	

2.4 내구성시험 평가방안

개발되는 NSD가 장착될 군용 트럭에 대한 초도 양산 시 내구성시험 조건은 Table 6과 같이 국방규격에서 제시하고 있으며, 양산중인 차량의 내구성 시험은 Table 7과 같은 비교시험 조건을 제시하고 있다. 따라서 본 개발품의 내구성 시험은 시간과 경비의 절약을 위해 6,500km 비교주행시험으로 선정하였다. 평가기준은 우리 군이 사용하고 있는 모델

과 동일한 조건에서 비틀림 피로시험을 한 후 주요 부품의 마모나 파괴상태를 비교하는 것이다.

내구수명에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 양산하고 있는 차축의 가속피로수명 시험 장치에 장착하여 차축과 비틀림 내구수명을 비교하였으며 시험조건은 Table 8과 같다.

Table 6 Durability test condition of NSD

구분	계		포장도로		비포장도로		야지	
	%	km	%	km	%	km	%	km
거리 (km)	100	32,000	30	9,600	30	9,600	40	12,800
속도 (km/h)			32이상		10~32		4~10	

Table 7 Durability comparing test condition of NSD

구분	계		포장도로		비포장도로		야지	
	%	km	%	km	%	km	%	km
거리 (km)	100	6,500	23	1,500	38.5	2,500	38.5	2,500
속도 (km/h)			32이상		10~32		4~10	

Table 8 Torsion fatigue test condition of NSD

입력토크	판정기준	비고
1,800kgf-m 이상	20,000Cycle 이상	

2.5 소음측정 평가방안

소음측정 평가방안은 소음이 가장 큰 포장도로 조건인 32km/h 이상의 고속에서 NSD가 작동되고 있을 때 NSD로부터 30cm 떨어진 거리에서 소음측정기를 사용하여 NSD가 분리될 때와 결합될 때 각각 소음을 측정하도록 규정하였다.

Table 9 Development specification of noise test

시험항목	개발 목표치 (A 모델 시험결과 이내)	비고
NSD 분리시	92.1dB 이내	
NSD 결합시	91.4dB 이내	

개발모델 NSD의 소음저감에 대한 개발목표치는 Table 9와 같이 현재 우리 군에서 사용하고 있는 A 모델을 상기 시험방법으로 시험한 결과치보다 적은 값으로 정하였다.

3. 시험장치 구성

개발된 NSD의 평가방안을 적용하기 위한 시험장비 사양은 주행속도가 저속(4 km/h 이하) 주행부터 80 km/h 이상의 고속 주행까지의 시험이 가능해야 하며, 이를 위하여 회전수(rpm) 및 토크(Torque)의 미세조정이 가능해야 한다. 이와 같은 평가방안에 적합한 시험장치의 구성도는 Fig. 1과 같다.

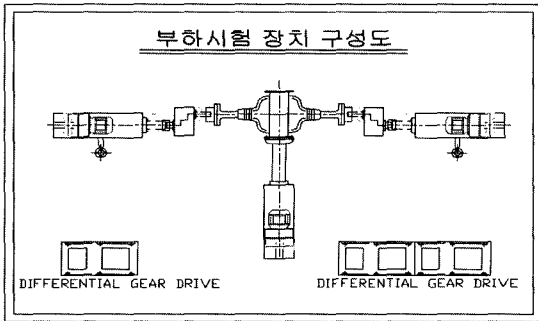


Fig. 1 Configuration of test equipment

NSD의 시험평가방안을 적용하여 시험평가를 실시하기 위한 시험장비는 제작비용이 과다하고, 공급기간이 너무 길어 기존 Dynamo 시험기를 Table 10과 같은 사양으로 개조하여 사용하였다.

Fig. 2는 내구수명에 대한 신뢰성을 확보하기 위

Table 10 Specification of modified dynamo tester

구분	Main Driver	Dynamo
Rated output	110kW	71kW
Speed(base)	2600rpm	2200rpm
Speed(top)	3000rpm	2800rpm
Rotation motor	CW&CCW	CW&CCW
Fan motor(V)	440V	440V

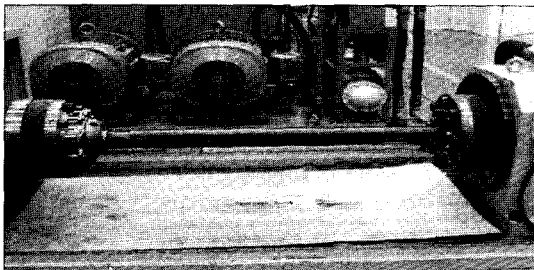


Fig. 2 Test equipment of acceleration fatigue durability

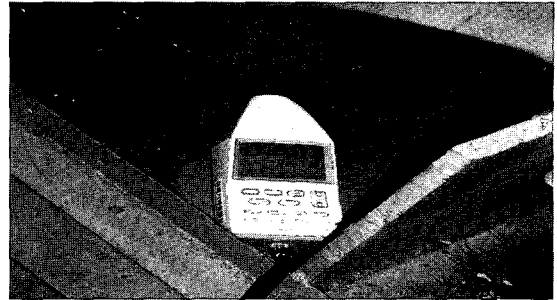


Fig. 3 Noise tester

해 양산하고 있는 차축과 내구수명을 비교하기 위해 개조한 가속피로수명 비교시험 장치이고, Fig. 3은 소음측정기이다.

4. NSD 시험평가

4.1 작동성시험 실시 및 결과분석

NSD의 예비시험인 작동성 시험은 Table 11과 같이 야지도로, 비포장 및 포장도로에 해당하는 3종류의 주행속도에서 각각 50회 실시하였다. Fig. 4(개발 모델) 및 Fig. 5(A 모델)는 19.6km/h(차축: 100rpm)로 비포장도로 주행속도조건에서 실시한 하나의 샘플로서, 좌·우측 바퀴의 회전수 차에 따라 NSD가 ①에서 분리되고 ③에서 결합되어, 분리 및 결합이 원활하게 작동되는 것을 보여주고 있다. 다른 주행속도조건에서도 이와 같이 원활하게 작동되었다. 최저속도인 4km/h이하와 최고속도인 80km/h이상에 대한 주행시험은 현재 시험기에서는 시험이 불가능하여 시험을 실시하지 못하였다. 그러나 39.1km/h 주행시험에서 NSD가 원활하게 작동됨으로 80km/h 이상의 속도조건에서도 원활히 작동 된다고 예측되어 이는 실차시험에서 확인하도록 하였다.^{5,7)}

Table 11 Reference of running speed in mobility test and real speed

도로조건	주행속도기준	시험 실시속도 조건 (차축 RPM)
야지도로	4~10km/h	9.8km/h(50rpm)
비포장	10~32km/h	19.6~29.3km/h(100~150)
포장도로	32km/h이상	39.1km/h 이상(200rpm)

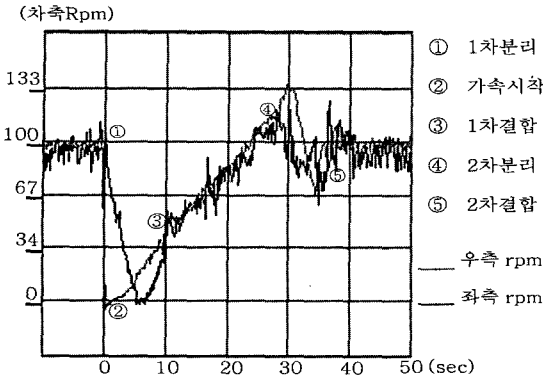


Fig. 4 Result of operation test of developed NSD

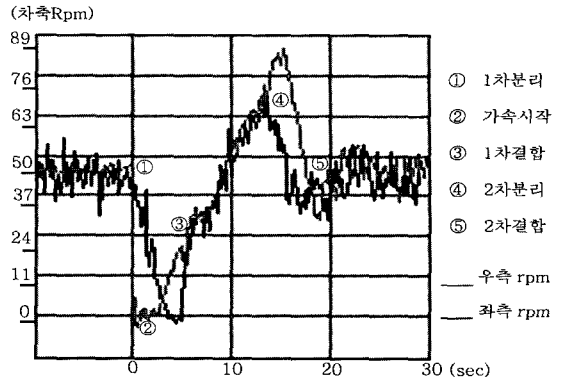


Fig. 7 Result of mobility test of A model NSD

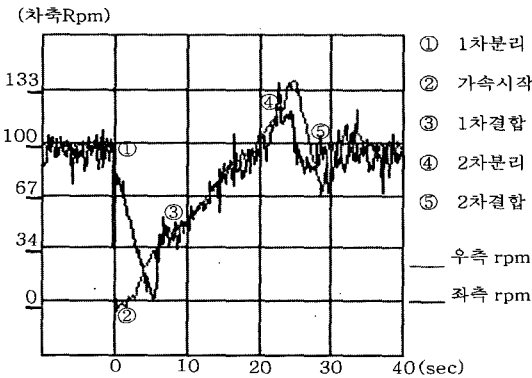


Fig. 5 Result of operation test of A model NSD

4.2 기동성 시험 실시 및 결과분석

NSD의 기동성 시험은 저속인 야지도로 주행속도 조건에 해당하는 9.8km/h(차축: 50rpm)에서 A 모델과 동일한 방법과 조건으로 비교시험을 50회 실시하였다. Fig. 6은 개발모델 NSD, Fig. 7은 A 모델 NSD의 실험결과를 그래프로 보여주고 있다.

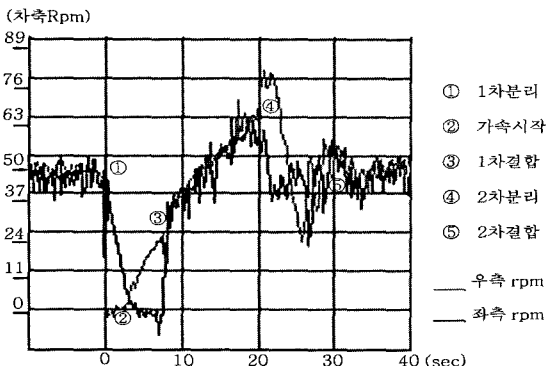


Fig. 6 Result of mobility test of developed NSD

상기 시험결과 NSD의 기동성에 해당하는 부분은 ②분리 후 가속시작→③NSD가 결합 될 때까지의 구간으로, 작동 소요시간과 차축 회전수 및 토크의 차가 개발목표 범위 내에 해당되며 Table 12와 같이 양호하게 기동되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이때 ③→④의 구간은 NSD가 결합 후 직진하는 경우에 해당된다.

Table 12 Result of mobility test

평가항목	개발 목표치 (A 모델시험+5% 이내)	시험 결과	비고
작동시간(sec)	5.51±5% 이내	5.54	
차축rpm 차	28.25±5% 이내	28.49	
토크 차	156.15±5% 이내	157.10	

4.3 조향성 시험 실시 및 결과분석

NSD의 조향성 시험은 포장도로 주행속도 조건에 해당하는 39.1km/h(차축: 200rpm)에서 A 모델과 동일한 방법과 조건으로 비교시험을 50회 실시하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 개발 및 A 모델의 실험 결과를 그래프로 보여주고 있다.

상기 시험결과 NSD의 조향성에 해당하는 부분은 ④재분리→⑤재결합 될 때까지이며, 작동 소요시간과 차축 회전수 및 토크의 차가 개발목표 범위 내에 해당되며 Table 13과 같이 조향성이 양호하다는 것을 확인할 수 있었다.

4.4 내구성시험 실시 및 결과분석

야지차량용 NSD의 내구성 시험은 Table 14와 같이 1차로 6,762km의 주행속도 조건에서 시험을 실

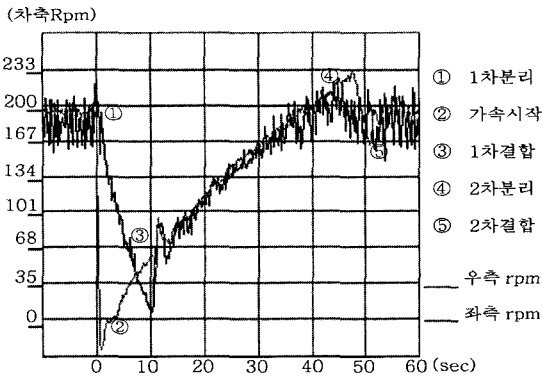


Fig. 8 Result of steerability test of developed NSD

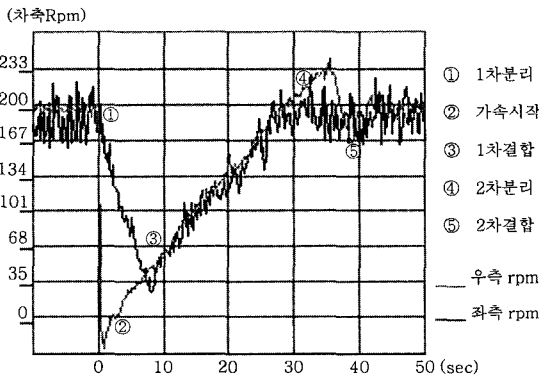


Fig. 9 Result of steerability test of A model

Table 13 Result of steerability test

평가항목	개발 목표치 (A 모델시험+5% 이내)	시험결과	비고
작동시간(sec)	6.62+5% 이내	6.82	
차속rpm 차	36.00+5% 이내	34.66	
토크 차	36.3+5% 이내	37.90	

Table 14 Durability test distance and speed condition

구분	계		포장도로		비포장도로		야지	
	%	km	%	km	%	km	%	km
거리 (km)	104	6,762	112	1,680	102	2,562	100	2,520
속도			39.1km/h		19.6~26.3km/h		9.8km/h	

시하고, 동일한 NSD를 가속피로수명 비교시험 장치에 장착하여 비틀림 내구성시험을 실시한 결과 입력토크가 1,800kgf-m에서는 차속과 NSD 모두가 무한 수명이 나왔다. 피로수명에 대한 비교시험을 실시하기 위해 가속피로수명시험을 실시한 결과 입

력토크가 3,500kgf-m, 35,531Cycle에서 차속이 파손되었으나 NSD는 양호하였다. 시험한 NSD를 분해하여 Spider 등 5종의 핵심부품에 대한 자분탐상시험을 실시한 결과 피로파괴 현상이 없어 내구성은 문제가 없는 것으로 판단되었다.

4.5 소음측정시험 실시 및 결과분석

소음측정 시험은 포장도로 주행속도조건인 39.1km/h로 NSD가 작동되고 있는 상태에서 A 모델과 개발모델 NSD로부터 30cm 떨어진 거리에서 소음측정기(모델명: 일본 R10N NC-04)를 사용하여 NSD가 분리될 때와 재결합 때 소음을 측정한 결과 Table 15와 같이 개발모델이 A 모델보다 양호한 것으로 나타났다.

Table 15 Result of noise test

평가항목	개발목표	시험결과	비고
분리시	92.1dB 이내	91.7dB	
결합시	91.4dB 이내	91.0dB	

5. 결론

야지 차량용 NSD를 국산화하기 위해 두 종류의 선진 NSD를 벤치마킹하고, 공리적 접근을 이용하여 설계평가와 개선설계를 실시하였었다.

개선 설계된 개발모델 NSD의 개발목표 달성여부를 확인하기 위하여 기존의 국방규격과 공리적 접근을 통한 개선설계 과정에서 도출된 설계기준을 활용하여 평가방안을 개발하였다.

NSD의 핵심기능인 기동성과 조향성에 대한 평가 기준은 우리 군이 현재 사용하고 있는 A 모델 시험 결과치의 +5%이내로 설정한 후 개발된 NSD를 시험한 결과 동 기준에 적합함을 확인할 수 있었다. 개발모델 NSD의 내구성 시험은 6,500km의 주행속도 조건에서 시험을 실시하는 비교시험방안을 채택하여 실시하였고, 신뢰성 확인을 위한 추가시험으로 차속과 가속피로수명 비교시험을 실시한 결과 차속은 입력토크가 3,500kgf-m, 35,531Cycle에서 파손되었으나 개발모델 NSD는 양호하였으며, 이를 분해하여, Spider 등 5종의 핵심부품에 대한 자분탐상시험을 실시한 결과, 피로파괴 현상이 없어 내구성은

우수한 것으로 판단하였다.

특히 소음특성 시험결과는 우리 군이 사용 중인 A 모델보다 개발모델 NSD가 우수한 결과로 판명됨에 따라, 개발모델 NSD의 전반적인 시험평가 결과는 개선설계 시 당초 개발목표를 달성하였음을 확인할 수 있었다. 그러나 최종적인 성능평가는 실차 실험을 통하여 확인하여야 하므로 실차시험을 의뢰한 상태이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 민군겸용기술사업 연구개발과제인 야지차량의 미끄럼 제한 차동장치 개발 연구결과의 일부이며 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) Y. C. Lee, Y. C. Kim, J. H. Park and J. T. Kim, "Research and Development about a Differential System for a Slip Limitation of an Off-road Vehicles," Ministry of Commerce, Industry and Energy, pp.42-43, 2002.
- 2) Y. C. Lee, "NSD Annual Project Report 2000," Dual Use Technology Center, pp.103-108, 2000.
- 3) Y. S. Pyoun, Y. D. Jang, Y. C. Lee, H. J. Park and J. W. Yeo, "A Study on the Development of No Spin Differential for an Off-road Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.11, No.6, pp.127-133, 2003.
- 4) Military Standard-2320-1007-4, 1997.
- 5) Y. C. Park, D. P. Yun, S. C. Hue, D. B. Jin and B. J. Lee, "The study of safety Evaluation of Improvement on Lower ARM(Ⅱ)," Transactions of KSAE, Vol.6, No.3, pp.18-25, 1998.
- 6) J. E. Yun and M. S. Chon, "Safety Estimation of Engine Lubrication System using Tilting Test Ring," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.1-6, 2002.
- 7) K. H. Ko, S. J. Heo and H. Kook, "Evaluation of Road-Induced Noise of A Vehicle using Experimental Approach," Int. J. Automotive Engineers, Vol.4, No.1, pp.21-30, 2003.