

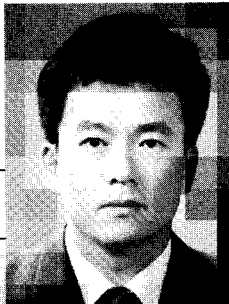
군기동장비용 변속기 시험장비 개발 사례



김도식

(KIMM 산업기술연구부)

- '90 인하대학교 자동화공학과(학사)
- '92 인하대학교 기계공학과(석사)
- '92- 현재 한국기계연구원 선임연구원



김형익

(KIMM 산업기술연구부)

- '78 아주공대 기계공학과(학사)
- '80 한국과학원 유압제어(석사)
- '82 프랑스 ISMCM 자동화공학(석사)
- '85 프랑스 ISMCM 공압제어(박사)
- '85 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 개요

본 시험장비 개발사례는 육군종합정비장의 군 현대화 사업의 일환으로 추진된 수탁과제로 관련 시험장비의 전량 수입계획을 국내개발로 전환하여 성공리에 국산화 개발 완료된 사업이다. 현재 유공압그룹에서는 군 또는 민수용으로 Dynamometer를 응용한 시험장비 국산화 개발과제를 계속하여 수행하여 왔으며, 그 중 대표적인 개발사례로 군기동장비용 변속기 시험장비 개발에 대하여 소개하고자 한다.

2. 기술현황

2.1 Dynamometer 기술 비교

변속기 시험장비에 사용되는 Dynamometer는 시험장비 중에서 가장 핵심에 되는 구성품으로 다양한 종류의 Dynamometer가 있고, 그 기능과 성능, 가격 또한 다양한 특성을 갖고 있다. 일반적인 Dynamometer의 기술 특성 비교는 표 1과 같고 Dynamometer의 응답특성비교는 그림 1과 같다, Eddy Current방식의 Dynamometer가 성능이 다소 떨어지며, A.C. Dynamometer와 Hydraulic Dynamometer가 우수한 편이다. 그러나, 가격과 시험종류에 따라 절대적인 것은 아니기 때문에 시험대상물의 토크와 회전속도 범위, 시험항목, 시험시간, 비용 등에 의하여 적절히 선정되어야 한다.

변속기 시험용으로 사용되는 Dynamometer의 특징은 넓은 영역의 회전수와 저속시의 고토오

크, 그리고 빠른 응답성등을 요구한다. 또한, 시험특성에 따라, Dynamometer의 Motoring 기능, 에너지 회생기능 등을 고려하여야 한다. 표 1과 그림 1의 자료를 참조하면 변속기의 부하장치로는 유압식 Dynamometer가 제일 적절한 방법으로 판단되어지고 있다.

2.2 시험장비 개발시 고려해야 할 사항

시험장비를 설계 제작하는 과정중 제일 중요한 것은 시험 대상물의 특성 연구이다. 시험대상물이 어떠한 기능적 특성을 갖는지, 만족해야할

시험항목은 무엇인지를 정확히 파악해야 한다. 또한, 시험장비의 향후 Upgrade시 필요한 사항도 검토하여 설계에 반영하는 것도 매우 중요한 요인이다. 새로운 모델 특성, 새로운 규격등을 미리 예측하여 반영하여야 한다. 시험장비의 요구조건을 결정하게 되는 요소는 다음과 같다.

- 시험장비의 용도
- Power Capacity
- 시험항목
- 데이터 측정 정밀도
- 제어정밀도(변위, 속도, 힘, 토크, 압력, 유량, 온도등)

표 1. Dynamometer 종류별 특성 비교

No	형식 성능인자	Eddy Current Type	Direct Current Type	Alternate Current Type	Hydraulic (Oil Brake) Type
1	Internal Moment of Inertia	30	80	60	1
2	Space(Test Mechanism)	55%	210%	150%	100%
3	Space(Total)	15%	120%	120%	100%
4	Direction of Rotation	Bi-Directional	Bi-Directional	Bi-Directional	Bi-Directional
5	Direction of Torque	Only Load Torque	Four Quadrant Operation	Four Quadrant Operation	Four Quadrant Operation
6	Dynamic Response	Suitable	Medium	High	Very High
7	Energy Recovery	Heat Energy	Electrical Energy	Electrical Energy	Electrical Energy, Hydraulic Accumulator, Energy return to central hydraulic unit
8	Quality of Recovered Electrical Energy	not Possible	not pure sine wave due to chopper	pure sine wave due to three phase machine	pure sine wave due to three phase machine
9	Loading of the Electrical Power Lines for Dynamic Tests	possible	high due to load peaks	possible	no load peaks, due to built on hydraulic accumulator
10	Torque & Speed Control Setting Accuracy	good	excellent	excellent	excellent
11	Absorbing Power/Weight	Bad	Bad	Bad	Excellent (고압화가능)
12	Price	30%	120%	150%	100%

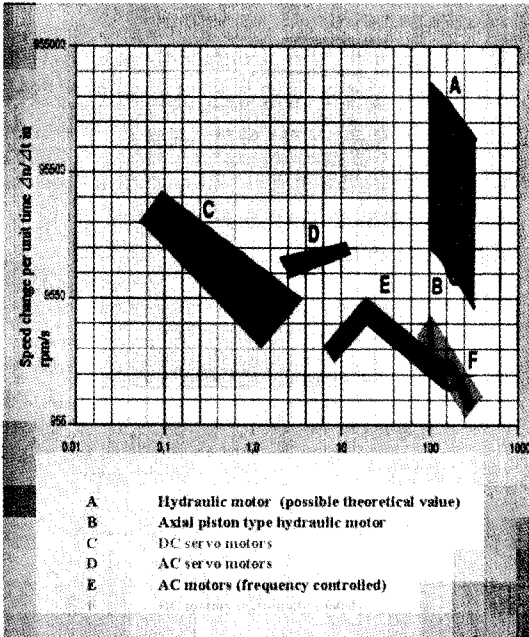


그림 1. 각종 Dynamometer의 응답특성 비교

- 자동화 수준(수동, 반자동, 완전자동)
- Software의 분석기능
- 유지비(전기 및 연료소모량등)
- Spare Part

2.3 시험장비 제작을 위한 요소기술

시험장비를 설계 제작하는 데에는 여러 가지 요소기술이 필요한데, 시험장비 개발시 첫 번째 작업은 시험대상물에 대한 제품 특성 분석으로, 시험대상물의 기능적 특성, 요구성능, 시험항목 및 규격등이 필요하며 향후 새로운 모델에 대한 특성, 새로운 규격등도 대비한 설계가 이루어져야만 한다. 다음 단계로는 테스트 메카니즘 설계 기술로 안전성과 시험대상물의 장탈착의 용의성 등을 고려하여야 한다. 시험장비에는 구동 및 부하장치가 사용되는데, 각 Actuator 들의 특성을 분석하여 가장 적절한 장치를 선정하고 제어시스템을 설계하여야 한다. 제어대상은 회전속도, 토크, 힘, 변위, 속도, 온도, 압력, 유량등 시험

장비에 따라 다르고, Open Loop Control, Close Loop Control등이 사용된다. 주로 적용되는 제어 이론으로는 PID 제어를 기본으로 Adaptive, Learning, VSS, Fuzzy등 다양하게 적용된다. 센서를 사용하기 때문에 센서의 히스테리시스와 비선형성 등을 보정한 정밀 Calibration 기술과 노이즈 방지 기술 그리고, 컴퓨터와의 인터페이스 기술과 시험 프로그래밍 기술 등이 필요하다. 시험장비 개발은 이 모든 기술들을 필요로 하는 종합엔지니어링 기술이다.

3. 변속기 시험장비 개발 내용

3.1 변속기 시험장비 구성

기동장비용 변속기는 일반 차량용 변속기와는 구조적인 차이가 있어, 엔진으로부터 1개의 입력을 받아 2개의 축으로 출력된다. 또한, 변속기능외에 조향과 제동기능도 갖고 있다. 그리고, 기동성을 요구하는 변속기이므로 고토모크에 고속회전이 가능한 변속기이다. 변속기 시험을 위한 테스트메카니즘은 T자형으로 배열되어 있고, 제어반은 시험실 모서리에 제어실을 만들어 배치하였다.

엔진에 해당하는 구동장치로는 AC 변속 모터를 사용하였고, 부하장치로는 유압식 Dynamometer를 사용하였다. 시험 대상물인 변속기의 출력은 변속기의 변속비로 인하여 넓은 영역의 토크/회전속도 범위를 요구한다. 따라서, Dynamometer 만으로는 만족하지 못하여 자동기어박스와 증속기를 설치하여 모든 영역의 부하/회전수 요구조건을 만족하도록 하였다.

그리고, Dynamometer 제어용 유압발생장치와, 기어박스 윤활 및 냉각 장치, 시험대상 변속기의 윤활 및 냉각 장치 등이 설치되어 있다. 변속기에 설치되어 있는 변속레버, 조향레버, 브레이크 레버등을 제어하기 위하여 공압 서보 밸브 및 솔레노이드 밸브를 사용하였다. 성능 측정을 위

표 2. 변속기 시험장비 제원

No	구분	항목	제원
1	테스트 메카니즘	Test Bed Dimension	11000×5300mm
		장탈착 방식	Modular Mounting Mechanism
		방진	Air Isolation
2	입력구동부 사양	형식	AC 전기모터
		용량	800HP(600KW) 회전수:Max3000RPM 토크:329kgf-m/1776RPM
3	부하부	Dynamometer의 사양	유압모타 500cc/rev, 420bar
		제어밸브	압력비례밸브 400bar
		유압발생장치	400HP×2EA 5700Liter Pump:400cc/rev,175bar 3EA
4	기어박스	변속비	전진8단(13.79~1), 후진2단(15.42~11.15)
		변속방식	공압을 이용한 자동변속
		증속기 증속비	1.7:1
5	기어박스 윤활 및 냉각 방식	펌프용량	5HP(기어박스), 3HP(증속기)
		냉각용량	50,000kcal/hr
		오일탱크용량	400Liter
6	시험변속기 윤활 및 냉각시스템	펌프용량	3HP
		냉각용량	85,000kcal/hr
		오일탱크용량	500Liter
7	브레이크 제어 시스템	형식	공기압서보시스템 압력 비례제어밸브 Analog Servo Control 방식
8	DAQ 시스템	Mainframe	VXI Bus C-Size
		A/D	32Ch, 16bit
		D/A	8Ch, 16bit
		DIO	64CH
		Controller	Embedded PC
9	센서	입력 토크메타	250kgf-m
		출력 토크메타	2500kgf-m
		회전수	5000RPM
		압력	70bar
		유량	190LPM
		Load Cell	200kgf
10	전기전자제어반	구성	Control Desk 1개/지시반2개
		기능	수동/반자동/자동 제어 원격제어기능/성능지시기능 Initialization & Trouble Shooting Indicator

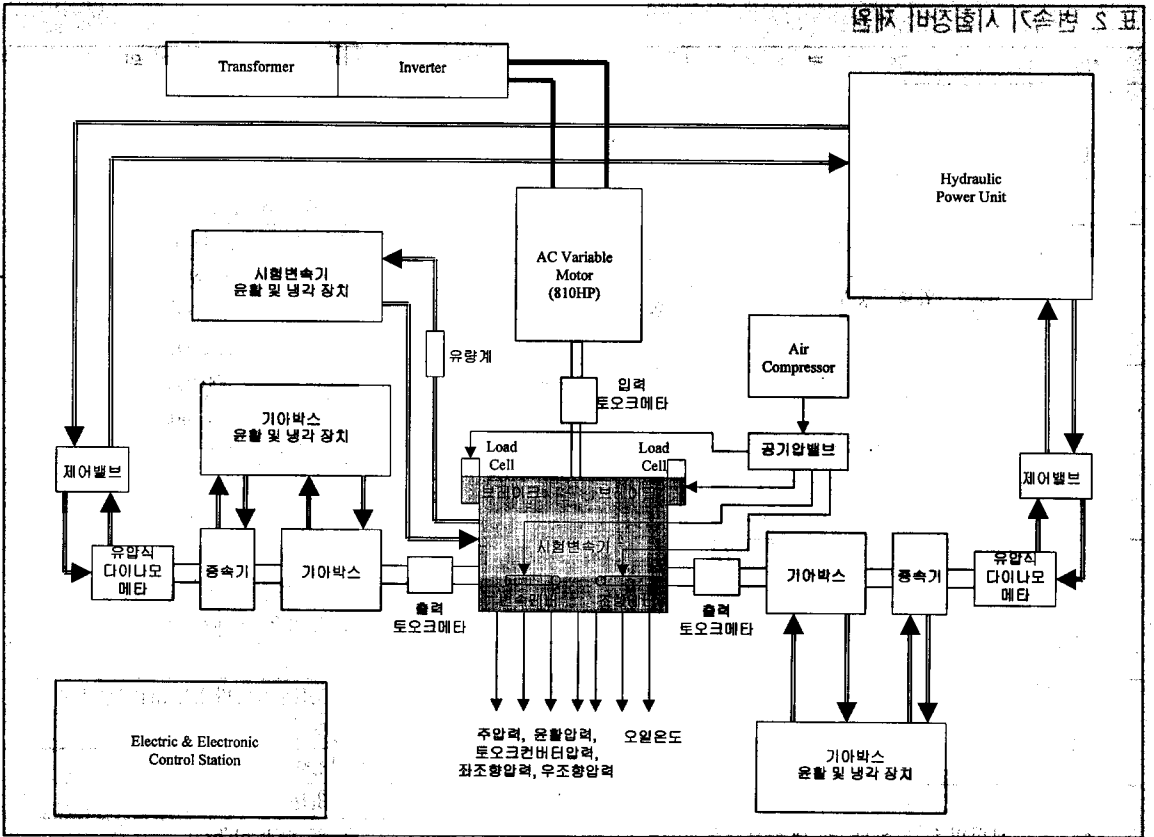


그림 2. 변속기 시험장비 구성도

하여 입출력 토오크메타, 회전속도계, 로드셀, 압력계, 유량계등이 설치되어 있고, 이는 지시계와 데이터획득 및 제어 장치와 연결되어 있다. 시험장비의 전체 구성도와 시험장비 제원은 그림 2와 표 2와 같고 시험가능 항목은 다음과 같다.

- 오일온도 및 압력시험
- 각단(저속, 고속, 후진) 무부하시험
- 각단(저속, 고속, 후진) 부하시험
- 각단(저속, 고속, 후진) 동력전달 효율시험
- 각단 스톱시험
- 중립 좌, 우 조향시험
- 브레이크 성능시험
- 최대 회전 속도시험
- 변위 시간차 시험
- 토오크 컨버터 출구 유량 시험

3.2 변속기 시험장비에 유압식 Dynamometer 적용 설계

유압식 Dynamometer는 시험변속기의 양쪽 출력부에 설치되어 실차조건에서 발생하는 시험변속기의 부하조건을 유압식 Dynamometer에서 재현하는 역할을 하고 있다. 시험변속기가 요구하는 Dynamometer 조건으로는 저속단(1단) 부하 시험시는 물론 Stall 및 브레이크시험(정지)시 고토크를 필요로하고, 실차재현을 위하여 부하 응답속도가 뛰어나야하며, Noise시험을 위해서 소음이 적어야 한다.

적용 가능한 Dynamometer로는 여러 종류가 있지만, 현재까지, 국내의 각종(변속기,엔진,엑슬 등)시험장비들은 거의가 DC Type, Water Type,

그리고 Eddy Current Type의 Dynamometer가 주종을 이루고 있으며 유압식 Dynamometer는 없었다. 물론, 유압에 대한 지식이 부족한 탓도 있겠지만 시험조건들이 그다지 까다롭지 않기 때문이다. 그러나, 본 변속기 시험장비에서는 시험변속기가 요구하는 시험조건들이 까다롭고 복잡하여 기존 Dynamometer로는 불가능하다.

유압식 Dynamometer의 장점은 유압의 특성으로 인하여 정지 및 저속시 고토크 부하가 가능하고 관성이 적기(출력밀도가 큼) 때문에 부하발생에 대한 응답속도가 빠르고 소음이 거의 없다. 따라서 시험변속기가 요구하는 Dynamometer조건을 만족하기 위해서는 유압식 Dynamometer로 선정 되어야 했다.

3.3 고속 고토크형 자동변속 메카니즘 (유압식 Dynamometer + 자동변속기 아박스) 설계 및 제작

고속·고토크형 자동변속 메카니즘은 시험 변속기의 양쪽출력부와 Dynamometer사이에 설치되어, 각단의 전영역에서 발생하는 시험변속기의 부하조건을 자동변속 메카니즘에서 자동변속하여 부하 재현을 용이하게 한다. 시험변속기가 요구하는 Torque & Speed 선도는 그림 3과 같다. 유압식다이노메타 사양은

- 최대토크 : 147kgf-m
- 최대속도 : 3060RPM 이며,

시험변속기의 요구사양을 만족하면서 동력을 효율적으로 활용하기 위하여 8단의 자동변속기 어박스를 설계하였다.

- 1단기어비 : 13.79, - 2단기어비 : 9.48,
- 3단기어비 : 6.52, - 4단기어비 : 4.58,
- 5단기어비 : 3.01, - 6단기어비 : 2.67,
- 7단기어비 : 1.42, - 8단기어비 : 1.00,
- 후진기어비 : 11.15

이에 따른 고속·고토크형 자동변속 메카니즘의 Torque & Speed 선도는 그림 4와 같다.

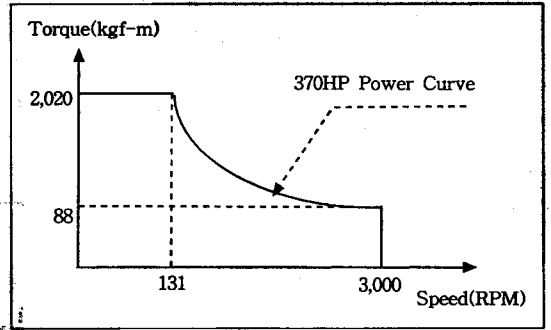


그림 3. 시험변속기의 Torque & Speed 곡선

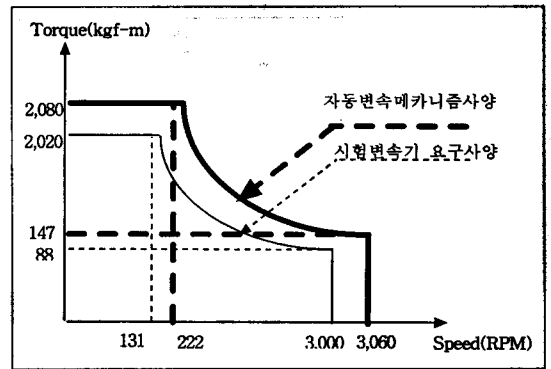


그림 4 자동변속 메카니즘의 Torque & Speed 선도

3.4 브레이크 시험에 공압 서보 시스템 채택

군기동장비용 변속기에는 브레이크 장치가 변속기 좌·우에 1개씩 부착되어 있어, 브레이크 레버에 작용하는 힘을 제어하여 브레이크 관련 시험을 하도록 되어있다. 기존의 장비는 수동으로 압력을 조절하여 사용하여 왔는데, 힘을 직접 제어하는 것이 아니기 때문에 정확한 시험 설정 값을 맞추는데 어려움이 있었고, 유압 서보 제어 방식을 사용하게 되면 비교적 정확한 값을 제어할 수 있는 장점이 있으나, 유압 서보 밸브나 유압비레벨브 등이 고가이고 유압발생 장치도 필요하게 된다.

따라서, 공기압 실린더와 공압 비레벨브, 로드셀등을 사용하여 저렴하게 시스템을 구성하였고, 전용 제어기도 그림 5와 같이 설계·제작하였다. Closed Loop 방식의 전용 서보제어기를 사용하

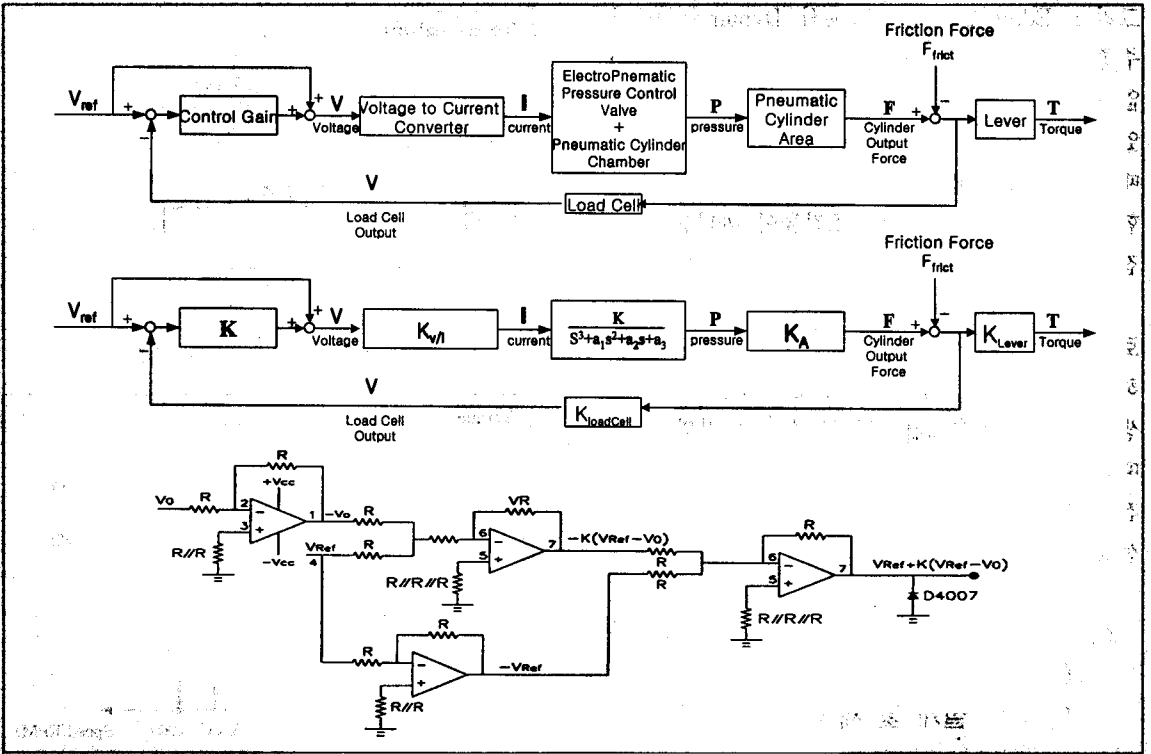


그림 5. Load Control용 공압 Servo System 설계

여 브레이크의 작용력을 정밀하게 제어하였고, 전용 제어를 설치하였기 때문에 수동조작시에도 정밀한 부하 제어가 가능하였다.

3.5 특수 기능이 내장된 Electric Control Station 설계 및 제작

본 시험장비에서 설계·제작한 Electric Control Station에는 사용자의 지식수준을 감안하고, 아울러 시험장비의 손쉬운 유지, 보수를 위하여 몇 가지의 특수기능을 내장시켰다.

Initialization 기능은 본 시험이 시작되기 전에 시험에 필요한 각종 조건들을 스스로 점검하여, 모든 조건이 완벽하게 준비되고 난 이후에야 시험이 가능하게 함으로써, 미흡한 준비상태가 초래할 수 있는 여러 가지 위험요소들을 사전에 제거하는 기능이다. 즉, Oil의 적정온도 및 적정 Level, Gear류의 인입, 투입여부 확인, 동력전원

의 전압수준등 준비가 미흡할 경우 장비에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 여러 요소들을 스스로 점검하여 한가지라도 조건이 만족되지 않으면, 시험이 시작되지 못하도록 하였다.

각종 고장진단 및 신속한 수리기능(Diagnostic & Trouble-Shooting Easy Function)은 테스트 메카니즘 각 부의 이상유무를 스스로 자가 진단하여 고장이 발생했을 경우에 고장부위를 램프로 점등시켜 알려줌으로써, 사용자가 이상이 발생한 부위를 곧바로 수리할 수 있도록 하여 시험장비의 정비시간을 10배이상 단축시켰다. 실제 전이상황에서는 장비의 수리시간이 아군의 전투력에 가장 직접적인 영향을 미치므로, 국방장비에 있어 각종 고장진단 및 신속한 수리기능(Diagnostic & Trouble-Shooting Easy Function)은 필수적이고도 가장 중요한 기능이다.

비상정지(Emergency Stop) 기능은 시험중에 발생하는 각종 위험한 상황으로부터 시험장비를

보호하는 기능이다. 사전에 설정된 온도, 압력, 유량, 속도, 토오크, 전압, 전류값의 상,하한치를 시험중에 지속적으로 감시하다가 설정값의 범위를 벗어나는 상황이 발생하면, 자동적으로 시스템을 정지시키게 된다.

3.6 전 시험항목의 자동화 Software 개발

본 시험장비는 수동, 반자동, 완전자동 모드로 구성되어 있으며, 자동모드를 사용하면 제어용 PC와 M계열 전차 변속기 성능 시험용 전용 소프트웨어를 사용하여 완전자동으로 시험할 수 있다. 소프트웨어는 Visual BASIC을 기본으로 C++, Origin 프로그램 등과 연결되어 작성되어 있고, Graphic 보조용으로 각종 OCX Tools이 사용되었다. O.S는 한글 Win 95 혹은 한글 Win NT4.0상에서 동작하도록 되어있다.

시험중 시험변속기와 시험장비의 상태(회전수, 토오크, 온도, 압력, 레벨등)는 Real Time으로 Monitoring(숫자, Bar Graph, Gauge, 스위치, Alarm등의 형태)이 가능하고, 이상시에는 자동 또는 수동으로 비상정지가 되며 이상사유를 나타내어준다. 시험할 변속기 모델명과 시험항목만 선택하면 자동으로 시험조건에 맞추도록 주변환경을 제어하고 조건에 만족하면 자동으로 선택된 시험을 수행하여 나가게 되어 있고, 새로운 모델의 변속기가 추가되었을 경우에는 새로운 정보를 입력할 수 있도록 되어 있다.

시험 종료후 측정된 시험 데이터와 시험기준치를 비교하여 합격 불합격을 자동판별 하도록 되어 있으며, 불합격시에는 불합격 사유와 재정비 부위와 작업지침서등이 데이터베이스로부터 자동으로 출력되도록 되어 있다. 이러한 정비 데이터베이스를 구축함으로써 정비불량을 줄일 수 있고 불량의원인을 쉽게 파악이 가능하며 새로운 데이터베이스를 작업자가 입력할 수 있어 정비시간과 정비비용 등 전반적인 정비효율을 높일 수 있도록 기여 하였다.

3.7 다품종 변속기의 Modular Mounting Mechanism 설계 및 제작

크기가 다르고 형태가 다른 변속기 5종의 장치를 위하여 치수 및 고정방법, 고속 고토오크의 입·출력축의 동심(Alinement)을 위한 메카니즘, 빠른 장착과 손쉬운 장치를 위한 메카니즘에 대한 연구가 필요하게 되었고, 이를 위하여 다음과 같은 방법을 통하여 Modular Mounting Mechanism 설계 및 제작 이 이루어졌다.

- 3 Point Fixed System 설계 및 제작 (2 Pin & 1 Jack Cylinder)
- 자동 동심용 원형치구 및 이송장치의 설계 및 제작
- 이송 및 위치제어용 유압식 Actuator 설계 및 제작

4. 결과 및 응용

위와 같은 기술을 토대로 변속기 시험장비를 그림 6 그림 7과 같이 제작하여 설치 운용 중에 있으며, 현재 군기동장비용 변속기를 개발된 시험장비에서 완전자동으로 수행하여 부하 및 성능시험을 수행하고 있다(년간 수백대의 시험수행중). 이 시험장비는 특정 모델의 변속기에 맞게 설계되어 있으나, 개발될 변속기의 시험이나 다른 용도의 변속기의 시험시에도 치구와 운용 소프트웨어의 일부 변경으로 시험 가능하도록 하였다.

향후 차세대 전차 및 장갑차의 변속기의 개발 시 종합시험장비로 개발이 가능하며, 일반 승용 및 상용 차량의 변속기 종합성능 시험장비 개발에도 응용이 가능하다. 또한, 개발된 유압식 Dynamometer는 변속기 시험장비 뿐만 아니라 각종 시험장비의 부하장치 또는 구동장치로 사용 가능하며, 각종 차량의 Power Train System(엔진, 변속기, 액셀, 샤프트등)의 Dynamometer로 활용 가능하다.

군기동장비용 변속기 시험장비의 개발을 통하여 고마력, 고가의 수입 시험장비를 국산화 시켰

으며, 축적된 기술로 향후 Dynamometer를 이용한 각종 시험장비의 국산화 개발에 활용할 수 있다.

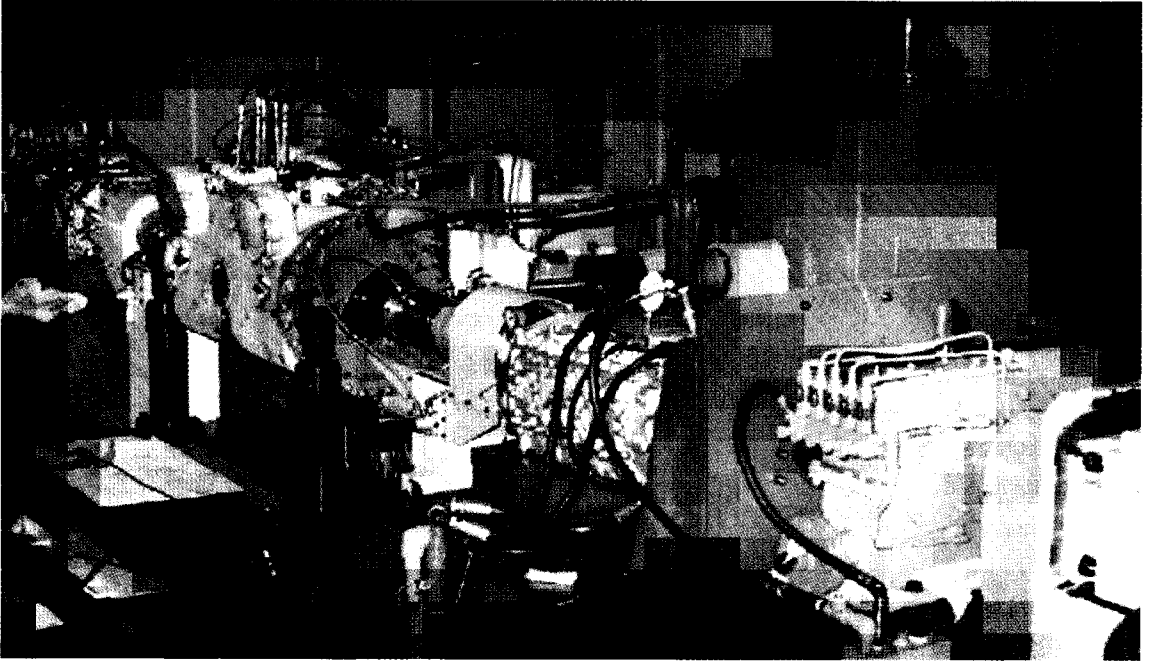


그림 6. 군기동장비용 변속기 시험장비의 테스트메카니즘

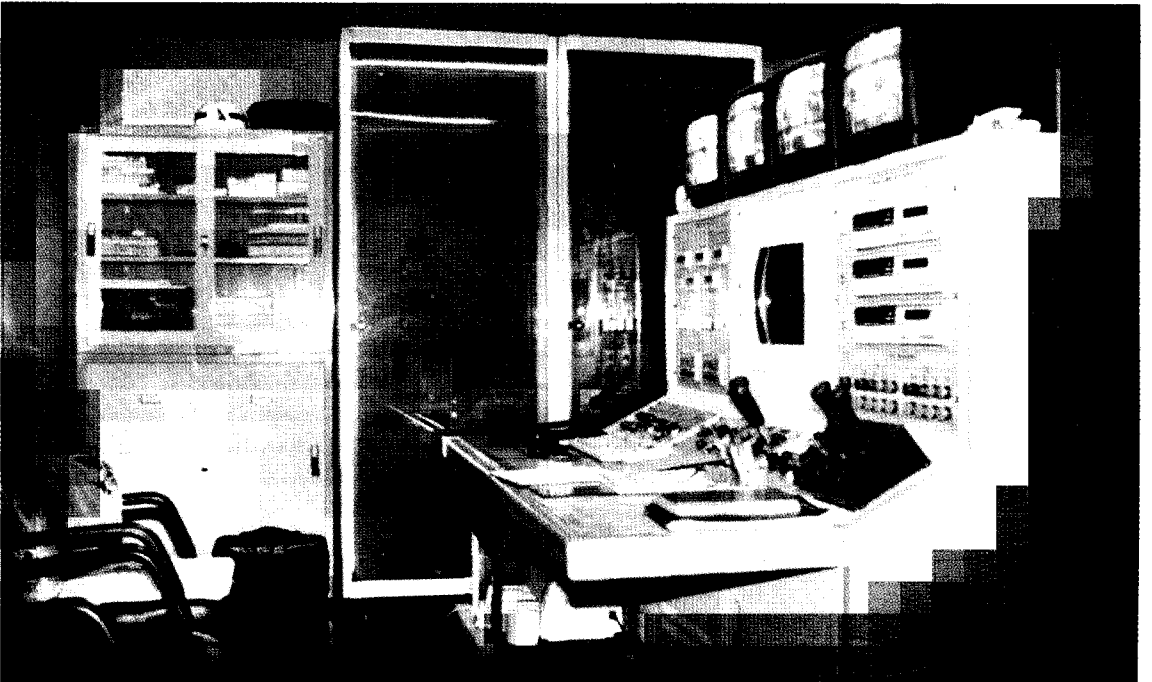


그림 7. 군기동장비용 변속기 시험장비의 전기전자 제어반