

# 틸팅 부하메커니즘 특성 분석을 위한 유압식 부하특성 평가 장치구성에 대한 연구

## A Study on a Configuration of the Load Characteristic Evaluation Device Using Hydraulic Power for the Analysis of the Tilting Kinetic Mechanism

이 준 호\* · 김 호 연\* · 한 성 호\*\*

Jun-Ho Lee, Ho-Yeon Kim and Seong-Ho Han

(2011년 9월 21일 접수 ; 2011년 11월 29일 심사완료)

**Key Words** : Tilting Mechanism(틸팅 메커니즘), Hydraulic Cylinder(유압실린더), Kinetic Performance(기동학적시험), Tilting Actuator(틸팅 액추에이터)

### ABSTRACT

In this paper a configuration of the load evaluation device for the tilting actuator using hydraulic power is presented, which makes it possible to measure the force action on the tilting actuator. It is possible to measure only current using the conventional electro-mechanical actuator when the bogie is in the process of the tilting. This makes impossible to measure the force acting on the tilting actuator. In order to overcome this problem a kinetic mechanism test system using hydraulic cylinder is proposed. The system are consisted of hydraulic cylinder for the tilting actuation, control system to control hydraulic power, sensors to measure for force and displacement and monitoring system for the user interface.

### 1. 서 론

경부고속철도 KTX가 2000년 9월 천안~대전간 59 km 시험선로에서 최고속도 300 km/h로 주행에 성공함으로써 우리나라도 고속철도 운용국가가 되었다. 그러나 경부선에서 무궁화열차와 새마을열차는 92 km/h ~ 150 km/h의 속도를 아직까지도 중 저속운행을 유지하는 중이다. 한편 영국, 이탈리아, 독일, 프랑스 등의 선진국에서는 70년대 초부터 기존 선 개량 및 틸팅 차량개발을 통하여 160~220 km/h

로 속도를 향상시켜 운행하고 있다<sup>(1)</sup>. 이에 따라 국내에서는 2001년부터 한국철도기술연구원의 신소재 틸팅 열차 시스템 연구단에서 기존 차량에 비해 승차감의 저하 없이 곡선부를 더욱 빠르게 주행할 수 있는 한국형 틸팅 차량인 한빛 200을 개발하고 있으며, 현재는 시제차량 제작을 마치고, 중앙선을 시작으로 시운전 시험이 단계적으로 진행되고 있다. 시운전을 통해 틸팅 차량의 시스템 안정화를 위하여 차량 외에 궤도, 구조물, 전차선, 신호 등 각 시스템 상호간의 인터페이스 검증을 위한 연구가 진행되고 있다<sup>(2)</sup>.

그 중 틸팅 메커니즘에 대한 연구도 국내/외적으로 활발히 진행되고 있다. 횡방향의 능동현가장치를 이용한 틸팅 메커니즘에 대한 연구<sup>(3)</sup> 및 틸팅 링크를 이용한 틸팅 메커니즘을 설계하고 차량의 동적

\* 교신저자; 정회원, 한국철도기술연구원  
E-mail : jhlee77@krii.re.kr  
Tel : (031)460-5040, Fax : (031)460-5699

\* (주)살롬엔지니어링  
\*\* 한국철도기술연구원

모델링을 포함하는 시뮬레이션 모델을 통하여 동적 특성을 분석하고 있다<sup>(4)</sup>. 또한 서보모터와 실린더, 유압시스템을 이용한 전기식 유압 액추에이터 시스템에 대한 연구도 함께 진행되고 있다<sup>(5)</sup>.

이 논문에서는 유압시스템을 활용한 틸팅 메커니즘 운동특성 평가 시스템에 대해서 다룬다. 기존의 전기식 액추에이터 방식의 틸팅 액추에이터는 차체 틸팅시 틸팅 액추에이터에서 필요로 하는 전류만을 측정하는 것이 가능하였으며 이러한 방식은 틸팅 구동시 틸팅 액추에이터에서 필요로 하는 힘을 측정하는 것이 불가능 하였다<sup>(6,7)</sup>. 따라서 이 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 유압 실린더를 활용한 틸팅 메커니즘 운동특성 평가 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 유압을 발생하고 유압 실린더를 구동시키는 유압시스템, 유압실린더의 구동상태에 따른 상태 측정을 위한 센서부, 센서로부터 되먹임(feedback) 되는 신호를 이용하여 제어출력을 발생하는 제어부와 상태 모니터링을 위한 UI(user interface)부로 구성된다.

이 논문에서 제안하는 유압식 틸팅 메커니즘 운동특성 평가 시스템은 틸팅 구동시 틸팅 메커니즘의 운동특성 파악을 용이하게 하고 틸팅 메커니즘의 부하와 운동변위에 영향을 주는 인터페이스의 특성 평가를 가능하게 한다. 또한 전기식 틸팅 액추에이터에서는 직접 측정이 불가능한 틸팅 액추에이터에 작용하는 부하용량 측정을 가능하게 하고 그 외 다양한 데이터를 수집하는 것을 가능하게 한다.

## 2. 전기식 틸팅 구동시스템

이 시스템을 설계하기 이전에 먼저 현재 개발되어 있는 시스템에 대한 이해가 필요하다. 한빛 200에 적용되어 있는 기존의 틸팅 구동시스템은 틸팅 볼스터, 틸팅 링크와 틸팅 액추에이터로 구성되어 있다. 기존의 전기식 틸팅 구동시스템의 신호흐름도를 Fig. 2에 보인다. Fig. 2에서 보듯이 선두차와 후부차의 대차 프레임에 설치된 대차검지기(BS : bogie sensor)는 바퀴 축 방향의 횡가속도를 측정한다. 측정된 횡가속도 신호는 사전틸팅 제어장치(TTP)에 의해 필터링되고 평가되며, 차체 틸팅 구동장치(CA : carbody actuator)의 틸팅 명령신호로 사용된다. 각 차체 틸팅 구동장치(CA)는 명령된 위치로 차체를 기울이

며, 실제 동작된 위치는 차체 틸팅 전자장치(CTE : carbody tilting electronic)로 전송되며 측정된 실제 위치 값과 명령된 틸팅각의 차이는 모터제어기에 의해 분석되어 동적으로 보상된다.

위에서 언급한 것과 같이 전기 액추에이터 방식에 의한 틸팅 구동장치는 대차 검지기(bogie sensor)의 입력각과 틸팅 구동에 의해서 발생하는 차체의 실제 이동 위치 값의 비교에 의해서 발생된 오차 값을 전기식 모터의 구동으로 보상하는 방식을 채용하고 있다. 이와 같은 방식은 틸팅 구동시 차체의 이동에 따른 위치값만을 측정하는 것이 가능하고 차체의 이동에 따라서 발생하는 틸팅 구동장치 및 주변 장치에 미치는 부하의 영향을 직접 측정 분석하기는 어렵다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 이 논문에서는 유압시스템을 활용하여 틸팅 액추에이터에 작용하는 부하특성 분석을 가능하게 하는

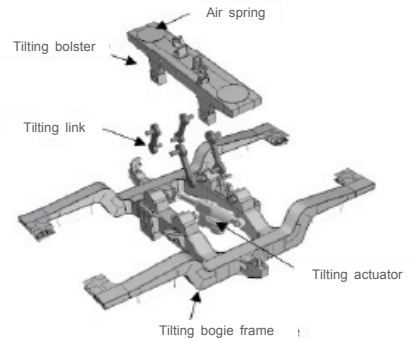


Fig. 1 Tilting mechanism

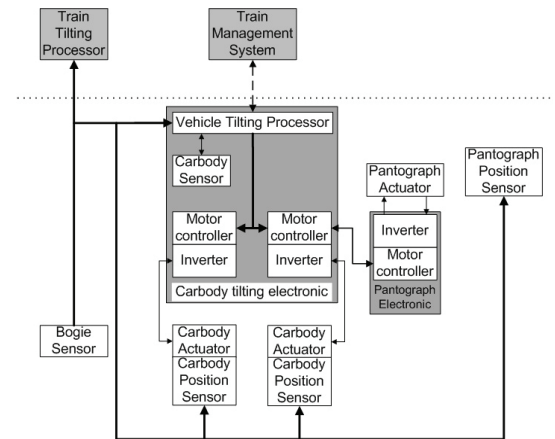


Fig. 2 Signal flow of tilting actuator system

유압식 틸팅 부하성능평가 시험장치를 제안한다. 이러한 장치는 지금까지 제작된 적이 없으며, 장치에 대한 개념적인 구성을 다음 장에서 보인다.

### 3. 유압시스템을 활용한 틸팅 부하 성능 평가 장치

Fig. 3은 유압식 틸팅 메커니즘 특성평가 시스템의 개념적인 구성을 보여주며, 틸팅 구동시 틸팅 액추에이터에 미치는 부하특성의 측정 및 분석을 가능하게 하는 유압실린더(유압시스템), 각종 센서, 제어기 및 모니터링 장치로 구성된다.

#### 3.1 유압시스템

시스템의 전체 구성에서 유압시스템의 역할은 틸팅 차체가 틸팅각을 구현하기 위해서 필요로 하는 힘을 유압에 의해서 공급하는 역할을 수행한다. 틸팅각에 따른 유압력의 결정은 제어시스템(제어기 및 모니터링)에서 입력하는 원하는 틸팅각을 유압력으로 환산해서 이루어지며 환산된 유압력은 유압시스템에 부착되어 있는 모터블럭에 입력된다. 입력된 유압력을 실제로 틸팅 차체에 공급하기 위해서 유압시스템에 부착되어 있는 모터가 원하는 유압력에 도달할 때까지 유압실린더로 유압탱크의 유체(기름)를 주입한다. 유압시스템에는 유압력을 생성하기 위해서 공급되는 유체(기름)의 양에 따라서 압력(힘)을 측정할 수 있는 게이지가 부착되어 있으며 이는 틸팅각의 변화에 따라서 틸팅 액추에이터에 작용하는 부하 용량을 나타낸다. 또한 유압시스템에는 유체(기름)공급의 이상으로 발생할 수 있는 비상 상태를 대비하여 공급된 유체(기름), 또는 유압력을 그대로

유지시키기 위해서 필요한 카운터 밸런스(counter balance) 밸브가 부착된다. 카운터 밸런스 밸브는 압력제어밸브의 한 종류로서 목적은 최대각도로 틸팅 구동중 비상상태(전원 공급 중단 또는 제어블럭의 이상동작)로 인하여 유압실린더가 틸팅 구동 제어를 유지하기 어려울 경우 중력으로 인해 차체가 하향하는 것을 막기 위하여 실린더 내부의 압력상태를 유지하는데 있다.

#### 3.2 각종 센서류

##### (1) 각도센서

각도센서는 틸팅 차체(bogie frame)에 취부되어 유압시스템의 유압력에 의해서 틸팅 차체에 틸팅 구동이 발생할 때 일어나는 각도의 변화를 측정한다. 이는 제어시스템에 의해서 유압시스템에 입력되는 목표 틸팅각(유압력으로 환산)을 생성하기 위해서 유압시스템의 모터 블럭이 유체(작동유)를 주입할 때 기울어지는 틸팅 차체의 틸팅각을 되먹임 함으로서 제어목표치에 해당하는 틸팅각에 틸팅 차체가 도달했을 때 유체의 주입을 멈추도록 하기 위함이다.

##### (2) 변위센서

변위센서는 유압시스템의 유압 액추에이터(유압실린더)에 취부되어 유압 액추에이터의 선형 길이 변화를 측정한다. 이는 틸팅 차체의 각도 변화에 대한 틸팅 액추에이터의 선형길이 변화를 측정하기 위함이고 이를 측정함으로써 틸팅각과 틸팅 액추에이터 사이의 상호 선형적인 상관관계를 규명하는 것이 가능하다. 또한 틸팅 액추에이터의 변위센서 값은 제어시스템으로 되먹임 되며 제어시스템은 틸팅 액추에이터의 변위센서 값과 제어시스템에 미리 저장된 틸팅 액추에이터의 스트로크(stroke) 제한 값과 비교하여 틸팅 액추에이터의 제한 스트로크 값을 넘지않도록 제어함으로써 틸팅 액추에이터 및 틸팅 차체를 보호하는 기능을 수행한다.

##### (3) 로드 셀

로드 셀은 틸팅 액추에이터에 취부되며 유압시스템에 의해서 틸팅 액추에이터가 구동할 때 발생하는 압력(힘)을 측정한다. 이는 제어시스템으로부터 유압시스템에 입력되는 틸팅각을 생성하기 위해서

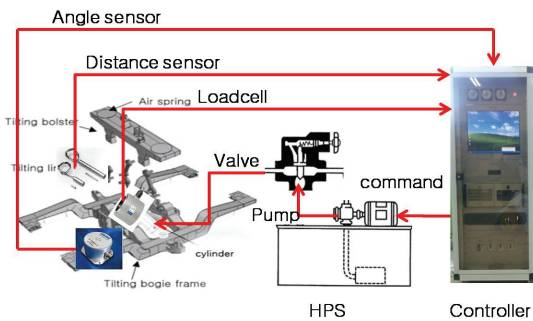


Fig. 3 Construction of system

유압실린더의 모터 블록이 유체(작동유)를 주입하고 이와 함께 구동되는 틸팅 액추에이터의 구동력(힘)을 로드 셀이 측정함으로써 기존의 전기식 액추에이터에서는 측정할 수 없었던 틸팅 액추에이터에 작용하는 부하량을 직접 측정하는 것이 가능해졌음을 의미한다. 측정된 부하량은 제어시스템으로 되먹임 되며 측정된 부하량과 틸팅각과의 상관관계를 분석함으로써 틸팅각에 따라서 틸팅 액추에이터에 작용하는 부하특성을 분석하는 것이 가능하다.

### 3.3 제어 및 모니터링

Fig. 4는 제어시스템의 블록도를 보여준다. 제어기 및 모니터링 장치는 유압실린더에 입력되어져야 하는 기준입력(틸팅각)을 생성하고, 각각의 센서들로부터 되먹임 되는 신호를 수집하여 적절한 제어 신호를 생성한다. 각도센서 신호는 현재 틸팅 차체의 틸팅각을 제어하는데 활용되고, 로드 셀 신호는 틸팅각 변화에 따라서 틸팅 액추에이터에 미치는 부하특성을 직접 측정 분석하는데 활용된다. 틸팅 액추에이터의 변위센서(LVDT)는 틸팅각에 따른 틸팅 액추에이터의 선형적인 변위량을 측정하는데 활용된다.

### 3.4 동기화제어

Fig. 5는 유압시스템의 설치 위치를 보여준다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 틸팅 열차를 대상으로 하는 현차 시험이 이루어질 경우 틸팅 구동에 의한 틸팅각을 생성하기 위해서는 틸팅 열차 1량당 설치되어 있는 2개의 대차 각각에 유압 액추에이터(유압실린

더)를 장착해야 한다. 이때 가장 중요하게 고려해야 할 점은 각각의 유압 액추에이터의 동작상태가 일정 범위안에서 동기화된 상태로 동작해야 한다는 것이다. 이와 같은 동기화제어 기능이 없으면 양쪽 틸팅 차체에 발생할 수 있는 틸팅각의 차이로 인해서 차량에 트위스트가 발생하여 치명적인 구조적 결함을 차량에 일으킬 수 있다. Fig. 6은 동기화 틸팅 제어에 대한 흐름(flow)을 보여준다. Fig. 6에서 보듯이 동기화를 위해서 각 유압 실린더의 스트로크 상태를 변위센서인 LVDT를 이용해서 측정하고, 측정된 LVDT값이 허용오차 범위 이내에 있는가를 판단한다. 허용오차 범위 이내에 있으면 동기화된 상태로 판단하고 다음 단계로 진행하지만 허용오차 범위 이내에 있지 않을 경우에는 유압실린더의 작동을 정지 시킨다.

허용오차 범위는  $\pm 4.5 \text{ mm}$ (두 실린더의 스트로크 차이)이며 이 값은 차량에 구조적 결함을 일으키지 않는 두 대차간의 최대 틸팅 오차 각으로 고려된다. 또한 틸팅 구동시 두 대차 간의 오차가  $\pm 2 \text{ mm}$  이상인 경우 틸팅 구동에 따른 오차가 커지는 것으로 간주하고 각각의 유압실린더의 구동 스트로크를 줄이는 방향으로 제어를 수행하며, 이러한 동기화 제어 로직은 유압실린더의 상태를 상시 감시한다.

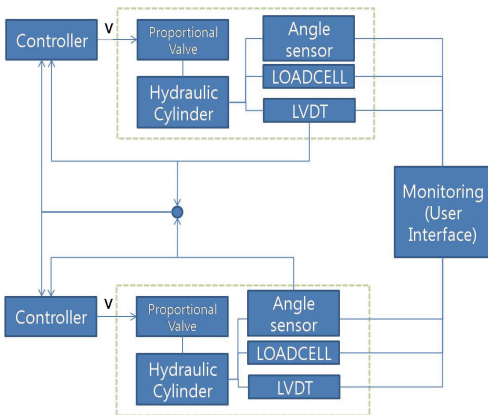


Fig. 4 Diagram of control

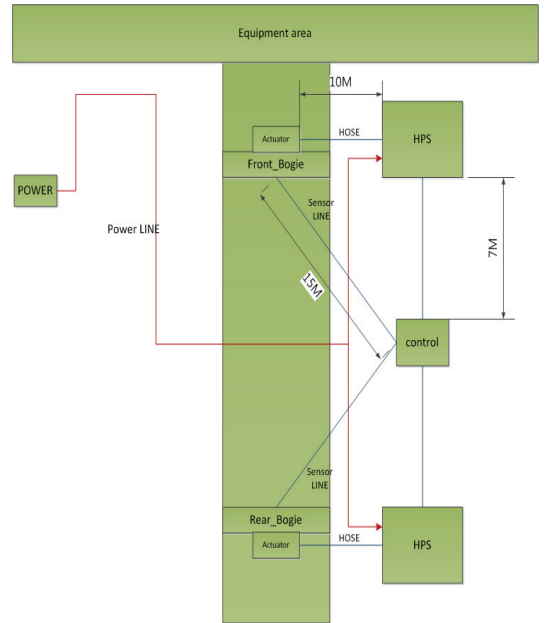


Fig. 5 Position of hydraulic system

틸팅 대차에 가해질 수 있는 최대 틸팅각은  $\pm 8^\circ$  ( $\pm 160$  mm)이며 틸팅 구동 시작 및 종료 20% 지점에서 유압실린더의 구동 속도를 가변하는 3단계 속도제어를 수행한다. 이와 같은 속도 제어방식을 채용하는 이유는 틸팅 구동시 시작 20% 지점까지 천천히 속도를 증가시킴으로써 틸팅 대차에 가해지는

충격을 완화시키기 위함이고, 또한 종료 20% 지점에서부터 서서히 속도를 줄임으로서 갑작스런 속도감속으로부터 대차를 보호하기 위함이다.

#### 4. 무부하 시험

이상에서 언급한 것과 같이 유압시스템을 이용하여 틸팅 메커니즘의 부하성능시험을 평가하기 위한 장치를 현차시험 전에 무부하 상태에서 제어성을 평가하기 위한 시험을 수행하였다. Fig. 7은 무부하 시험을 위한 설비를 보여준다. 무부하 시험은 부하용량 없이 유압실린더(유압 액추에이터)의 동작 상태를 시험하기 위한 것으로  $\pm 8^\circ$  ( $\pm 160$  mm)의 스트로크 구간에서의 동기화제어 상태 및 3단계 속도제어 상태를 시험한다. 이 시험을 위해서 등속구간(2단계 속도제어구간)에서 20 mm/s의 속도를 설정했으며 가속구간(1단계 속도제어 구간)에서는 유압실린더의 전체 이동거리의 20% 지점까지 증속, 감속구간(3단계 속도제어 구간)에서는 유압실린더의 전체 이동거리의 80% 지점부터 감속 하는 것으로 설정했다.

Figs. 8~10은 무부하시험 결과를 보여준다. Fig. 8과 10은 두 유압실린더의 이동거리( $\pm 160$  mm) 및 틸팅각( $\pm 8^\circ$ )에 대한 시험 결과로서 시작시점부터 20%시점 및 80% 지점부터 종료 시점까지의 증속 및 감속에 따른 속도 변화를 보여준다.

Fig. 8에서 보듯이 시작후 20% 시점 및 80%에서 종료 시점까지 약 6 mm/s의 속도로 증속과 감속을 수행하고, 등속 구간에서는 약 14 mm/s의 속도로 이동한다. 20% 시점과 80% 시점의 설정은 전체

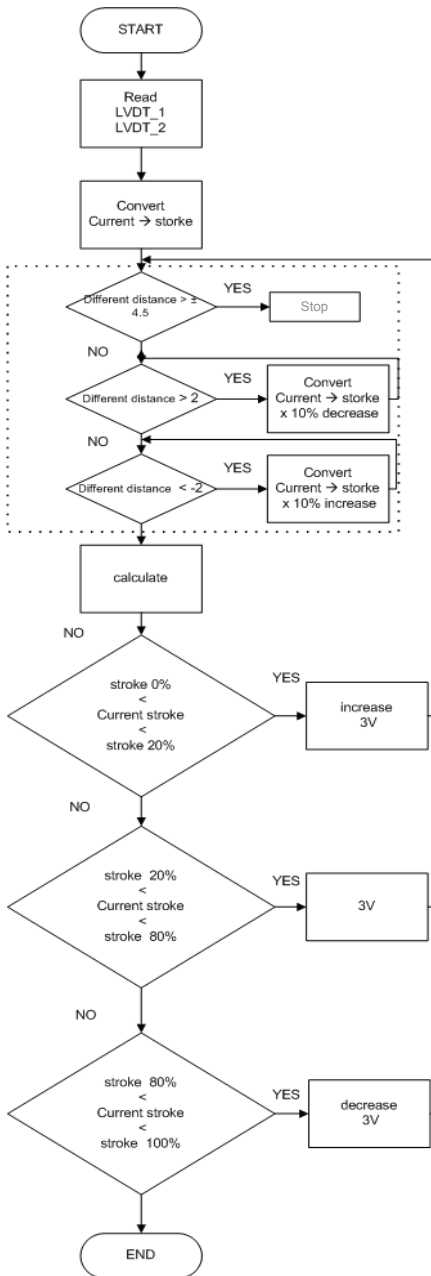


Fig. 6 Algorithm of synchronization control

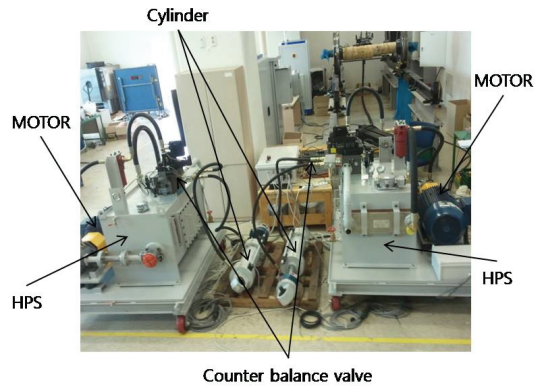


Fig. 7 Picture of hydraulic system



이동거리 320 mm를 20 mm/s의 속도로 이동할 때 이동시간은 약 16 sec이며, 16 sec의 20%인 3.2 sec를 시작시점에서 20% 시점 및 종료전 20% 시점으로 설정했다. 실험결과에서 보듯이 유압실린더는 이 논문에서 제안하는 구간별 속도제어 특성을 잘 보여주고 있다.

Fig. 10은 두 유압실린더의 스트로크 오차를 나타내고 있으며 설정된  $\pm 4.0$  mm의 오차범위 내에 있는 것을 알 수 있다. 이것은 두 유압실린더가 오차범위내에서 동기화가 이루어진 상태로 동작하는 것을 의미한다.

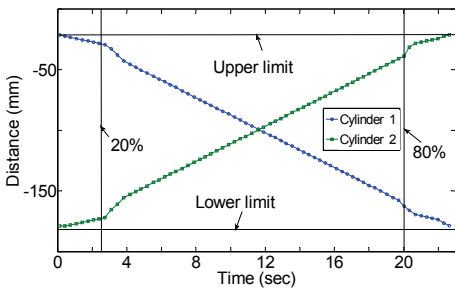


Fig. 8 Distance of hydraulic cylinder

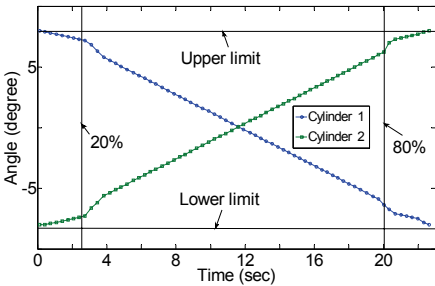


Fig. 9 Angle of hydraulic cylinder

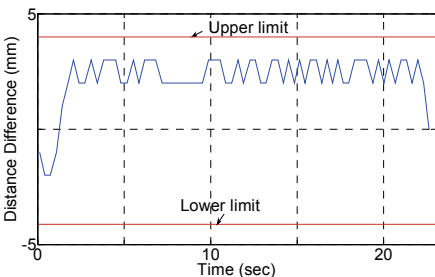


Fig. 10 Distance different of stroke

## 5. 결 론

이 논문에서는 틸팅 메커니즘의 부하특성 분석을 가능하게 하는 유압식 틸팅 메커니즘 운동특성 평가 시스템의 구성 및 구성된 시스템의 성능을 현차 적용 전에 무부하 상태에서 시험한 결과에 대해서 다루었다. 시스템 구성은 유압시스템, 부하특성 평가를 위한 측정용 센서류, 유압 액추에이터(유압실린더) 제어 블록 및 모니터링 장치로 구성되고, 무부하 시험을 통하여 제안된 유압식 틸팅 메커니즘 운동 특성 평가 시스템의 동작 상태 및 성능을 입증하였다. 또한 이 장치를 이용한 현차시험이 추후에 수행될 예정이다.

이 논문에서 제안하는 유압식 틸팅 메커니즘 운동특성 평가 시스템은 틸팅 구동시 틸팅 액추에이터에 인가되는 부하용량을 직접 측정하는 것을 가능하게 하며 이를 통하여 틸팅 부하특성의 보다 면밀한 해석에 기여할 것으로 기대된다.

## 후 기

이 연구는 2011년도 국토해양부의 틸팅 열차 운행 유지보수 효율화 SE 연구 사업에 의하여 이루어진 연구로서 국토해양부의 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) You, W. H., Han, S. H., Kim, N. P., Kim, G. D. and Park, K. B., 2002, The Study for System Design of Tilting Car for Conventional Railroad, Proc. Korea Society For Railway Spring Annual Meeting, pp. 317~329.
- (2) Park, Y.-G., Choi, S.-Y., Kim, Y.-T. and Choi, J.-Y., 2009, Analysis of Occurrence Tendency of Rail Force According to Running the Hanvit 200 Train on Transition Curve Track, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 12, No. 5, pp. 678~686.
- (3) Kimiaki SASAKI, 2000, A Lateral Semi-active Suspension of Tilting Train, QR of RTRI, Vol. 41, No. 1, pp. 11~15.

(4) Zolotas, A. C., 2002 Advanced Control Strategies for Tilting Trains, Doctor of Philosophy of Loughborough University.

(5) Enomoto, M., Kamoshita, S., Kamiyama, M., Sasaki, K., Hamada, T. and Kazato, A., 2005, Development of Tilt Control System Using Electro-hydraulic Actuators, QR of RTRI, Vol. 46, No. 4, pp. 219~224.

(6) Lee, J.-H., Kim, H.-Y. and Han, S.-H., 2011, A Conceptual Design of the Performance Evaluation Device for the Tilting Mechanism of the Tilting

Train, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 494-497.

(7) Seo, B.-I. and Lee, B.-H., 2010, A Study on the Quasi-static Overturing and Derailment Safety of Tilting Train, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 6, pp. 537~545.

(8) Kim, J.-S. and Kim, N.-P., 2005, Characterization of the Tilting Link Mechanism for the Tilting Train, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 8, No. 1, pp. 34-40.