

2007年度 2月  
博士學位論文

자동초점조절용 VCM 액추에이터의  
구동특성에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

蔡 埴

2007年度 2月 博士學位論文 자동초점조절용 VCM 액추에이터의 구동특성에 관한연구 蔡 埴

2007年度 2月  
博士學位論文

자동초점조절용 VCM 액추에이터의  
구동특성에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

蔡 璿

자동초점조절용 VCM 액추에이터의  
구동특성에 관한 연구

A Study on the Operating Characteristics of  
VCM Actuator for Auto Focusing

2007年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

蔡 埴

자동초점조절용 VCM 액추에이터의  
구동특성에 관한 연구

指導教授 白 亨 來

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함.

2006年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

蔡 埴

蔡 埜의 博士學位 論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

2006年 12月 日

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

## ABSTRACT

|                              |    |
|------------------------------|----|
| I. 서 론 .....                 | 1  |
| III. 이론적 고찰 .....            | 6  |
| A. 전자기력의 이론적 고찰 .....        | 6  |
| 1. 솔레노이드 자기장 .....           | 6  |
| 2. 상호인덕턴스 .....              | 10 |
| 3. 자기력 .....                 | 12 |
| 4. AF 액추에이터 운동방정식의 단순화 ..... | 15 |
| B. VCM액추에이터 .....            | 22 |
| 1. VCM의 전자기적 특성 .....        | 22 |
| 2. VCM의 모델링 .....            | 26 |
| III. 전자기 해석 모델링 .....        | 29 |
| A. VCM의 등자속 및 자속밀도해석 .....   | 29 |
| B. VCM의 특성해석 .....           | 34 |
| IV. VCM 액추에이터 시험시스템 설계 ..... | 39 |
| A. VCM 액추에이터 시제품 제작 .....    | 39 |
| B. VCM 액추에이터 특성평가 시스템 .....  | 42 |
| 1. 특성평가지스템 .....             | 42 |
| 2. Hardware 구성 .....         | 43 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 3. Software 구성 .....      | 47 |
| <b>V. 실험 및 결과</b> .....   | 49 |
| <b>A. VCM의 특성고찰</b> ..... | 49 |
| 1. 구동드라이버 설계 .....        | 49 |
| 2. 이동변위특성 .....           | 50 |
| 3. 변위응답특성 .....           | 55 |
| 4. 히스테리시스특성 .....         | 60 |
| <b>B. 영상특성시험</b> .....    | 65 |
| 1. 자동초점조절기능시험 장치 .....    | 65 |
| 2. 자동초점조절기능시험 .....       | 71 |
| <b>VI. 결론</b> .....       | 73 |

참고문헌

부록

## *List of tables*

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Table 4-1 | Design specification of AF actuator .....    | 39 |
| Table 4-2 | Specification of laser sensor units .....    | 44 |
| Table 5-1 | Measuring data of maximum displacement ..... | 54 |
| Table 5-2 | Measuring data of hysteresis .....           | 64 |



## *List of figures*

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Fig. 2-1 | Magnetic field form at 1 turn coil .....                    | 7  |
| Fig. 2-2 | Magnetic field cross section of<br>x-axis in solenoid ..... | 8  |
| Fig. 2-3 | Induced magnetic field of<br>two filamentary circuits ..... | 10 |
| Fig. 2-4 | The axis of coordinate in curved beam .....                 | 15 |
| Fig. 2-5 | Modeling of the suspension type actuator .....              | 17 |
| Fig. 2-6 | Force acting on a current carrying conductor .....          | 22 |
| Fig. 3-1 | Flux variation according to condition .....                 | 30 |
| Fig. 3-2 | Flux density according to condition .....                   | 32 |
| Fig. 3-3 | 3D simulation of flux .....                                 | 33 |
| Fig. 3-4 | Modeling of VCM characteristics .....                       | 36 |
| Fig. 3-5 | Setting of path_1 .....                                     | 37 |
| Fig. 3-6 | Analysis of path_1 .....                                    | 38 |
| Fig. 4-1 | Prototype of VCM actuator .....                             | 41 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Fig. 4-2  | Block diagram of measuring system for<br>VCM operation characteristics ..... | 42 |
| Fig. 4-3  | Frame for measuring horizontal and<br>vertical operation of VCM .....        | 43 |
| Fig. 4-4  | System of measuring horizontal and<br>vertical operation of VCM .....        | 46 |
| Fig. 4-5  | Software for VCM characteristics .....                                       | 48 |
| Fig. 5-1  | Circuit of actuator driver .....   | 49 |
| Fig. 5-2  | The results of maximum displacement .....                                    | 51 |
| Fig. 5-3  | Displacement and input voltage for measuring .....                           | 52 |
| Fig. 5-4  | Degradation of maximum stroke .....  | 53 |
| Fig. 5-5  | Response characteristics in changing reference .....                         | 57 |
| Fig. 5-6  | Response characteristics in changing reference<br>in double mode .....       | 58 |
| Fig. 5-7  | Displacement response in two mode .....                                      | 59 |
| Fig. 5-8  | Hysteresis characteristics of VCM .....                                      | 61 |
| Fig. 5-9  | Degradation of hysteresis .....  | 63 |
| Fig. 5-10 | Degradation of hysteresis in the weibull 6 .....                             | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 5-11 Block diagram of camera module characteristics ..... | 65 |
| Fig. 5-12 Imaging characteristics of focusing .....            | 66 |
| Fig. 5-13 Distinction of resolution .....                      | 67 |
| Fig. 5-14 Color reappearance .....                             | 68 |
| Fig. 5-15 Block diagram of auto focus fuction test .....       | 69 |
| Fig. 5-16 Equipment for measuring the color bar .....          | 70 |
| Fig. 5-17 Convertor board for driver circuit .....             | 70 |
| Fig. 5-18 Image comparate on the auto focus .....              | 72 |

## *Abbreviation*

|     |   |                                      |
|-----|---|--------------------------------------|
| AF  | : | Auto focus                           |
| VCM | : | Voice coil motor                     |
| ODD | : | Optical drive device                 |
| PDA | : | Personal digital assistant           |
| MP3 | : | Moving picture experts group layer 3 |
| TV  | : | Television                           |

## *Nomenclature*

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $B$            | : | 자기장의 세기   |
| $\mu_0$        | : | 자유공간에서의 투자율                                       |
| $B_z$          | : | 축방향의 자기장  |
| $\phi_I$       | : | $B_I$ 의 자속  |
| $M_{21}$       | : | 두 고리의 상호 인덕턴스                                     |
| $L$            | : | 인덕턴스  |
| $E$            | : | 페러데이 기전력  |
| $F$            | : | 전자기 유도에 의해 발생하는 기자력                               |
| $I_y$          | : | y 축에 해당하는 질량관성 모멘트                                |
| $I_z$          | : | z 축에 해당하는 질량관성 모멘트                                |
| $G$            | : | 강성계수  |
| $J$            | : | 비틀림 상수  |
| $\rho$         | : | The density fo the curved beam                    |
| $\delta$       | : | Dirac's delta fuction                             |
| $q_{iz}$       | : | i 번째 모드에서 일반 좌표계 상수                               |
| $\theta_x$     | : | 임의의 수평 Beam의 뒤틀림 각                                |
| $q_{\theta i}$ | : | 뒤틀림 각 $\theta_x$ 에 대하여 i 번째 모드에서 일반좌<br>표계에 대한 상수 |
| $\omega_I$     | : | Curved beam의 수직방향에 대한 첫번째 고유진<br>동수               |

# ABSTRACT

## **The Analysis Design and Operating Characteristics of VCM Actuator for Auto Focusing**

Bong Chae

Advisor : Prof. Hyung-Lae Baek Ph.D.  
Department of Electrical Engineering,  
Graduate School of Chosun University

Product development is consisting by trend that accommodate almost function digital cam in camera phone that can speak of Mobile appliance, and competition about number of elemental area of image sensor is consisting for market prior occupation between these.

Accordingly, is galloped by old painting going back of several million pixels in that elemental area of number hundred thousand pixels. Because area of camera module self-focusing (Auto Focus) function embodiment should be available basically from 2 million elemental areas and optic handful loading and miniaturization of module size are required compulsory more than 3 million elemental areas, is situation that development competition also about camera phone that load these function is controlled a fever more.

Function of digital camera and portable phone sold by independent product past according to digital convergence flowing thus consol. camera phone appearing by current of new fashion character do .

Storehouse pickup actuator (Optical pick-up actuator) to embody optic handful multi-function can classify by two.

One is coil transfer style (Moving-coil type), and another is magnet transfer style (Moving-magnet type). Coil transfer style has several advantages because actuator is light and, sensitive relatively.

Therefore, coil transfer style is used more extensively usually. Support structure decides position of Moving part (bobbin) in actuator, and take charge role that make strength of stability and the kind is Shaft type actuator, Hinge type actuator, Leaf spring type actuator, Wire spring type actuator.

Propose in this research and small size camera phone self-focusing adjustment actuator that do city manufacture is similar with general storehouse pickup actuator drive way, but selected in cylindrical to reduce space that lens holder occupies because there is restriction loading of lens and space enemy. Also, AF actuator applied Leaf spring that is used in mentioned storehouse pickup actuator in front because is required exercise of top and bottom direction and widen width and control lens hold oneself's Tilt.

But, restriction can not but shorten length because is space enemy in design side if apply suspension of Leaf spring form used usually in storehouse pickup actuator.

But, applied archetype shape's Curved spring at design step

because affect immense exercise displacement of required module if design length shortly.

Also, posted arrangement of suspension lens holder top and bottom - crossroads other Motion except top and bottom exercise of module reduces phenomenon that appear.

Target number of research established that execute drive displacement more than  $600\ \mu\text{m}$  in 3V that is house voltage that is used in Mobile device that is general.

Also, described about maximum transfer displacement characteristic, displacement response characteristic, hysteresis, response characteristic, smallest transfer step characteristic, actuator's drive characteristic that is manufactured to examination item of maximum consumption electric power by special quality estimation system that apply laser displacement sensor that produce itself to evaluate city manufactured actuator's special quality.



## I. 서 론

과거에 음성위주의 기능으로 사용되었던 휴대전화는 휴대성과 개인성을 확보한 기기상의 특성과 고객의 요구, 이동통신 사업자, 단말기 제조사들의 욕구가 맞물리면서 더 이상 단순한 의사소통 기기가 아닌 멀티미디어 복합기기로서 진화하고 있다. 이를 위해 기본적으로 컬러화가 이루어 졌으며 카메라, 캠코더, MP3, 게임기, TV 등 다양한 기능이 하나의 휴대전화에 내장되는 모바일 컨버전스(mobile convergency)화로 진행되고 있다.

모바일 기기의 대표격이라 말할 수 있는 카메라폰에서 디지털 카메라 기능을 거의 수용하는 추세로 제품개발이 이루어지고 있고, 이들 간의 시장선점을 위해 이미지 센서의 화소수에 대한 경쟁이 이루어지고 있다. 이에 따라 수 십만 픽셀의 저화소급에서 수 백만 픽셀의 고화소급으로 급속히 진행되고 있다.

카메라폰의 시초는 2000년 11월 일본의 J-Phone에서 출시된 ‘샤메일(SHA-Mail)’이라는 휴대폰 출시 이후 여러 경쟁사들에 의해 다양한 카메라폰이 출시되고 있고, 최근에는 디지털 화소수에 근접하는 300~500백만 픽셀의 카메라폰이 출시되고 있다.

카메라모듈의 영역에서는 200만 화소부터 기본적으로 자동초점 (Auto Focus) 기능 구현이 가능해야 하며, 300만 화소급 이상부터는 광학 줌 탑재 및 모듈 크기의 소형화가 필수적으로 요구되고 있어, 이들 기능을 탑재한 카메라폰에 대한 개발 경쟁 또한 더욱 치열해 지는 상황이다.

이와 같이 디지털 컨버전스 흐름에 따라 과거 독립적인 제품으로 판매되던 디지털 카메라와 휴대폰의 기능이 통합된 카메라폰이 등장하여 새로

은 유행의 한 조류로 성장하고 있다.

카메라폰이 디지털 카메라와 경쟁하는 수준까지 기술이 진보함에 따라 대부분의 카메라폰은 디지털 줌(Digital zoom) 방식을 채택하고 있다. 디지털 줌 방식은 모니터에 보이는 크기만 확대시키므로 화질이 그만큼 떨어지게 된다. 반면 광학 줌은 직접 렌즈가 앞 뒤로 움직이기 때문에 화질을 손상시키지 않고 멀리 있는 물체를 가까이에서 찍는 효과를 얻을 수 있게 된다. 그러나 모바일 기기의 크기에 대한 특성상 한정된 공간 내에 카메라 기능을 부여하기 위해서 크기를 대폭 축소한 모듈 형태를 취할 수 밖에 없으며, 이러한 과정에서 기존 카메라의 많은 기능들이 제한을 받게 되었다. 이러한 기능적인 제한은 렌즈의 광학적 특성과 움직임 제어와 관련이 깊다.<sup>[1,2]</sup>

한편, 모바일 기기의 Imaging solution은 메가 픽셀급의 고해상도에 다기능이 부가된 콤팩트한 구조로 발전하고 있어서 모바일 기기의 특성상 크기, 무게, 전력 소모 등 제약 사항을 감안하여 광학 모듈 자체의 크기 뿐 아니라, 탑재된 액추에이터를 제어하기 위한 구동 장치의 복잡성 및 소비 전력 등을 감안한 개발기술이 필요하다.

최근에 장착되기 시작한 광학 줌 기능을 가진 모바일 기기용 카메라의 경우 줌 렌즈 및 이미지센서 모듈의 조립체 대부분이 해외 수입되는 상황 이어서, 향후 3년내 1억대(2005, IDC Phone camera 예상 : 2008년 6.4억대중 15% 이상이 광학줌/AF 채용 예측)가량 예상되는 카메라 폰용 High end imaging system 시장을 더 이상 외국에 의존할 수 없는 실정이다. 이로써 휴대폰이나 PDA 등과 같은 모바일 기기에 장착되는 촬상 소자용 카메라 광학모듈은 렌즈의 전장을 최대한 축소시킴으로써 초소형 렌즈를 구현하고, 적절한 비구면 계수를 갖도록 렌즈를 형성하여 렌즈에 입사하는 빛의 각도를 줄이고 해상력을 향상시킬 수 있는 촬상

소자용 카메라 렌즈의 개발이 카메라폰의 소형화에 핵심기술로 대두되고 있다. 또한, 메가 픽셀급 모바일 기기 카메라용 광학모듈에서 두께를 획기적으로 개선하고 자동초점 및 광학 줌의 다기능 구현이 가능한 초소형 프리즘 광학모듈 개발은 카메라폰의 향후 핵심기술로 대두되고 있다. 따라서, 메가 픽셀급 모바일 기기 카메라용 광학모듈에서 두께의 획기적 개선과 자동초점 및 광학 줌의 다기능 구현이 가능한 초소형 프리즘 광학모듈 개발은 카메라폰의 향후 핵심기술로 부각될 수 있으며 국가 경쟁력 확보에 매우 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.<sup>[2,3]</sup>

VCM(Voice coil Motor)은 렌즈 경통 주변에 감은 코일의 자기장을 이용하는 액추에이터 방식으로 광학줌 다기능 기능을 구현하기 위한 광픽업 액추에이터(Optical pick-up actuator)는 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 코일 이동형(Moving-coil type)이고, 다른 하나는 자석 이동형(Moving-magnet type)이다. 코일 이동형은 액추에이터가 상대적으로 가볍고, 감도가 좋기 때문에 여러 장점을 가지고 있다. 따라서 일반적으로 코일 이동형이 더 광범위하게 사용되고 있다.

액추에이터에서 지지 구조는 Moving part(bobbin)의 위치를 결정하고, 복원력을 만드는 역할을 담당하며 그 종류에는 Shaft type actuator, Hinge type actuator, Leaf spring type actuator, Wire spring type actuator가 있다.

Shaft 형은 다른 종류에 비해 조립이 쉽다. 특히, Moving part의 Tilt motion을 억제하는 Shaft가 구성되어 있기 때문에 Tilt에 대해서는 우수한 성능을 보인다. 그러나 Shaft나 렌즈 홀더와 같은 부품이 고가이고, 많은 부품이 요구되므로 제작 비용이 크다는 단점을 가지고 있다. 또한 Shaft와 렌즈 홀더 간의 마찰이나 열에 대해 비선형 특성을 지니고 있다는 단점도 있다.

Hinge 형은 부품 수가 적고, 가볍고 간단한 조립의 장점을 가지고 있으나 다른 종류에 비해 강성과 공진 주파수가 낮고, 온도에 민감하다는 단점이 있다.

Leaf spring 형은 높은 공진주파수, 적은 Tilt와 같이 우수한 동특성을 가지고 있다. 또한 자동화 제작이 가능하므로, 요구특성에 만족하는 여러 가지 설계가 가능하고 조립과정을 통해 오류를 최소화할 수 있다. 하지만 Leaf spring에 대한 제작비용이 크다는 단점을 가지고 있다.

Wire spring 형은 현재 광픽업 액추에이터에서 가장 많이 사용된다. 온도나 습도변화에 강한 특성을 보이며, 다른 종류보다 더 나은 동특성 및 감도를 보여준다. 하지만 조립공정의 오차로 인해 부차 공진이 발생된다. 따라서 이에 대한 문제는 조심스럽게 고려되어야 할 사항이다.

본 논문에서 제안하고 시제작한 소형 카메라폰용 자동초점조절 액추에이터는 구동방식은 일반 광픽업 액추에이터와 비슷하지만, 렌즈의 탑재와 공간적 제약이 있으므로 렌즈 홀더가 차지하는 공간을 줄이기 위해 원통형으로 채택하였다. 또한 AF 액추에이터는 상하방향의 운동만 요구되므로 앞에서 언급된 광픽업 액추에이터에서 사용되는 Leaf spring 을 적용하였고 폭을 넓혀 렌즈 홀더 자체의 Tilt를 억제하였다. 그러나 광픽업 액추에이터에서 일반적으로 사용되는 Leaf spring 형태의 서스펜션을 적용한다면 설계측면에서 공간적 제약이 있기 때문에 길이를 짧게 할 수밖에 없게 된다. 그러나 길이를 짧게 설계한다면 요구되는 모듈의 운동 변위에 지대한 영향을 미치기 때문에 설계단계에서 원형 모양의 Curved spring을 적용하였다. 또한 모듈의 상하운동을 제외한 다른 Motion이 나타나는 현상을 줄이기 위해 서스펜션의 배치를 렌즈 홀더 상하-십자로 배치하였다.

기본적으로 전자기를 이용한 ODD 액추에이터는 요크(yoke)를 사용

하여 자기 폐회로를 구성하고 누설자기를 최소화하는데 주력하였다. 또한 액추에이터의 4분할 된 자석에서는 누설 자기장이 발생하고 근거리에 있는 자석의 자기장에 영향을 미치지만, 일반적으로 요구되는 자동초점조절용 액추에이터의 운동에는 큰 지장을 미치지 않기 때문에 문제가 되지 않는다고 가정하였다.

본 논문에서는 일반적인 모바일 기기에서 사용되는 인가전압인 2.75V에서 600  $\mu$ m 이상의 구동변위를 실행하는 것으로 설정하였다. 또한 시제작된 액추에이터의 특성을 평가하기 위하여 자체 제작한 레이저 변위센서를 응용한 특성 평가시스템으로 최대 이동변위특성, 변위응답특성, 히스테리시스 응답특성, 최소 이동스텝특성, 최대 소비전력의 시험항목으로 제작된 액추에이터의 구동특성에 대한 타당성을 실험을 통하여 입증하고자 한다.

본 논문의 구성은 제 1장에서는 서론으로 본 논문에 대한 연구의 필요성과 연구 내용에 대하여 기술하였으며 제2장에서는 VCM 액추에이터 및 전자기 이론적 고찰을 통하여 Auto Focus 액추에이터의 운동방정식에 대하여 단순화하고, 제3장에서 본 논문에 적용된 VCM에 대하여 유한요소법을 이용한 전자기 해석에 대하여 구조해석 및 시뮬레이션 수행 결과에 대하여 설명한다. 제4장에서는 시제작된 시험평가 시스템에 대하여 기술하고 제5장에서 설계된 시스템에 특성시험 결과와 분석 결과에 대하여, 제6장에서 결론으로 구성하였다.

## II. 이론적 고찰

### A. 전자기력의 이론적 고찰

#### 1. 솔레노이드 자기장

전류와 자장사이에 작용하는 전자기력은 전류에 의해 발생하는 자기장과 자석의 주위에 형성되는 자기장의 상호작용에 의한 힘으로 말할 수 있으며, 전류에 의해 만들어지는 자기장은 비오-샤바르법칙(Biot-Savart Law)에 의해 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dl \times R}{R^3} \quad (2-1)$$

여기서  $dl$  은 선 요소이고  $R$  은 원천전하로부터 관측점  $P$  까지의 거리이며,  $I$  는 선 요소에 흐르는 전류를 나타낸다.

상수  $\mu_0$  는 자유공간에서의 투자율을 나타내며 그 값은 식 (2-2)와 같다.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [Wb/A \cdot m] \quad (2-2)$$

그림 2-1에서와 같이 코일이 1회 감긴 원형의 자기장에 대하여 식 (2-3)과 같이 나타낼 수 있다.

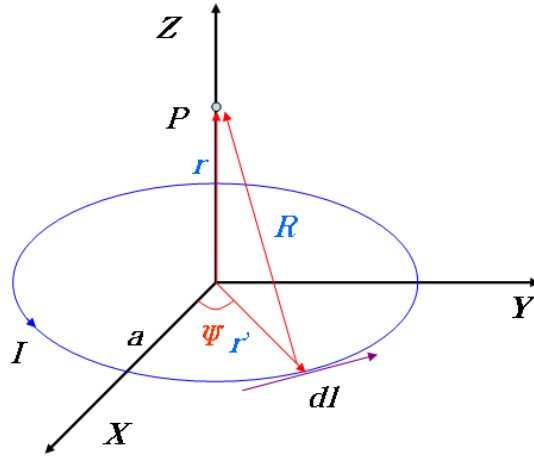


Fig. 2-1 Magnetic field form at 1 turn coil

$$\begin{aligned}
 r &= z \hat{z} \\
 r' &= a(\cos \Psi \hat{x} + \sin \Psi \hat{y}) \\
 R &= -a \cos \Psi \hat{x} + a \sin \Psi \hat{y} + z \hat{z} \\
 R^2 &= a^2 + z^2 \\
 dl &= a d\Psi (-\sin \Psi \hat{x} + \cos \Psi \hat{y}) \\
 dl \times R &= a d\Psi [ z (\cos \Psi \hat{x} + \sin \Psi \hat{y}) + a \hat{z} ]
 \end{aligned} \tag{2-3}$$

식 (2-3)으로부터 원형 Loop의 자기장을 구하면 식 (2-4)와 같다.

$$B = \frac{\mu_0 I_a}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{[ z (\cos \Psi \hat{x} + \sin \Psi \hat{y}) + a \hat{z} ] d\Psi}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \tag{2-4}$$

위 식에서 축 방향의 자기장  $B_z$  를 구하면 식 (2-5)와 같다.

$$B_z = \frac{\mu_0 I_a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2-5)$$

내부의 지름이  $d$  이고 외부지름  $D$ , 권선수  $N$ , 길이가  $L$  인 솔레노이드 축 방향의 자기장은 식 (2-6)에 의하여 구할 수 있다.<sup>[2]</sup>

$$B(z) = \int_0^L \int_{d/2}^{D/2} \frac{\mu_0 n I r^2}{2[r^2 + (z_p + L/2 - z)^2]^{3/2}} \hat{z} dr dz \quad (2-6)$$

여기서,  $n$  은 단위 길이당 권선수이고,  $z_p$  는 솔레노이드의 중심에서  $P$  점까지의 거리이다.

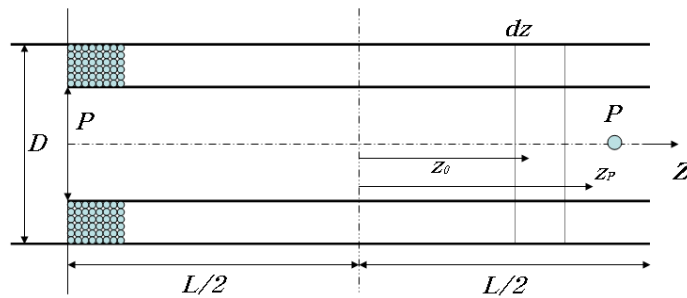


Fig. 2-2 Magnetic field cross section of x-axis in solenoid



그림 2-2와 같이 식 (2-6)을 적분하여 임의의 솔레노이드 내  $Z$  축 위에 있는 점  $P$  점에서의 자기장을 구하면 식 (2-7)과 같다.

$$B_z = \frac{\mu_0 N I}{2l(D-d)} (l+2z_P) \ln \left( \frac{D + \sqrt{(D^2 + (l+2z_P)^2)}}{d + \sqrt{(d^2 + (l+2z_P)^2)}} \right) \quad (2-7)$$

$$+ \frac{\mu_0 N I}{2l(D-d)} (l-2z_P) \ln \left( \frac{D + \sqrt{(D^2 + (l-2z_P)^2)}}{d + \sqrt{(d^2 + (l-2z_P)^2)}} \right)$$

## 2. 상호인덕턴스

움직이지 않는 두 개의 도선 고리사이에서 그림 2-3의 Loop 1에 전류  $I_1$  가 흐르면 자기장  $B_1$  이 생기게 되고, 그 자기력선의 일부는 Loop 2를 지나가게 된다. 두 번째 Loop를 지나는 자속  $B_1$  의 자속을  $\phi_2$  라고 하면 자속은 식 (2-8)과 같이 된다.

$$\phi_2 = \int B_1 \cdot da_2 \quad (2-8)$$

또한 자기장  $B_1$  은 비오-샤바르법칙에 의하여 식 (2-9)와 같이 된다.

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{4\pi} \int \frac{dl_1 \times R}{R^3} \quad (2-9)$$

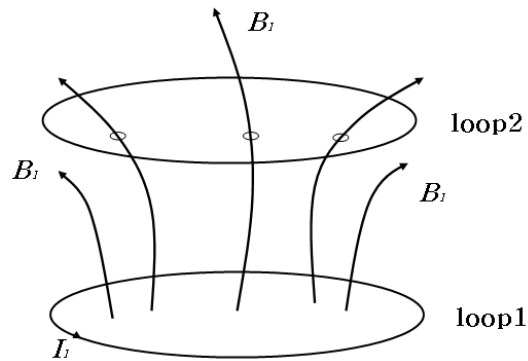


Fig. 2-3 Induced magnetic field of two filamentary circuits

식 (2-9)는 자기장  $B_1$  은 도선을 통해 흐르는 전류  $I_1$  에 비례함으로 식 (2-8)에 의해 두 번째 고리를 통과하는 자속은  $I_1$  에 비례한다. 그러므로 자속은 다음 식 (2-10)으로 나타낼 수 있다.

$$\phi_2 = M_{21}I_1 \quad (2-10)$$

여기서,  $M_{21}$  은 비례상수로서 두 고리의 상호인덕턴스라고 한다.

상호인덕턴스는 식 (2-8)과 식 (2-10)에 의해 다음 식 (2-11)로 나타낼 수 있다.

$$M_{21} = \frac{\int B_1 \cdot da_2}{I_1} \quad (2-11)$$

축방향의 자유도만 갖는다는 가정 하에 내부 지름이  $d$  이고 외부 지름이  $D$ , 권선수가  $N$ , 길이가  $L$  인 솔레노이드와 지름이  $d_p$ , 길이가  $l_p$  인 원통형 영구자석 사이의 상호인덕턴스를 구하면 식 (2-7)과 식 (2-8)에 의해 식 (2-12)로 나타낼 수 있다.

$$B_z = \frac{\mu_0 N \pi d_p^2}{8l(D-d)} \left[ (l+2z_p) \ln \left( \frac{D + \sqrt{(D^2 + (l+2z_p)^2}}{d + \sqrt{(d^2 + (l+2z_p)^2}} \right) \right. \right. \\ \left. \left. + (l-2z_p) \ln \left( \frac{D + \sqrt{(D^2 + (l-2z_p)^2}}{d + \sqrt{(d^2 + (l-2z_p)^2}} \right) \right) \right] \quad (2-12)$$

여기서,  $z$  는 솔레노이드 중심으로부터 영구자석 중심까지의 거리이다.

### 3. 자기력

임의의 폐 루프에  $t=0$  에서  $t=t$  사이에 전류  $I$  가 외부 자계원으로 인하여 루프 내에 발생하게 된다. 이와 같은 전류가 발생될 때 외부 자계원은 자기에너지로 저장되는 전기적인 일을 한다.

자기에너지는 페러데이 기전력법칙으로 식 (2-13)과 같이 계산된다.

$$E = -L \frac{dI}{dt} \quad (2-13)$$

여기서,  $L$  은 인덕턴스이다.

열에 의한 에너지 손실은 무시할 수 있다고 가정하면 유도기전력에 의한 회로에서의 전기적 일률은 식 (2-14)와 같다.

$$\frac{dW}{dt} = E I \quad (2-14)$$

식 (2-13)에 의해 식 (2-14)는 식 (2-15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dW}{dt} = -L \frac{dI}{dt} I \quad (2-15)$$

위 식 (2-15)을 전류에 대하여 0 에서 최종 전류  $I$  까지 적분하면 계에 저장되는 에너지는 식 (2-16)과 같이 된다.

$$U = \frac{1}{2L} I^2 \quad (2-16)$$

$N$  개의 중복된 페루프로 이루어져 있는 회로의 경우 자기에너지는 식 (2-17)과 같이 된다.

$$U_m = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N M_{jk} i_j i_k \quad (2-17)$$

여기서,  $j = k$  에 대하여  $M_{jk} = L_j$  이다.

두개의 솔레노이드의 경우 자기에너지는 식 (2-18)과 같다.

$$\begin{aligned} U_m &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N M_{jk} i_j i_k \quad (2-18) \\ &= \frac{1}{2} (M_{11} i_1^2 + M_{12} i_1 i_2 + M_{21} i_2 i_1 + M_{22} i_2^2) \\ &= \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + M i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \end{aligned}$$

여기서,  $M_{11} = L_1$ ,  $M_{22} = L_2$

$M_{12} = M_{21} = M$  이다.

전자기 유도에 의해 발생하는 기자력은 식 (2-19)와 같다.

$$F = \nabla U_m \quad (2-19)$$

따라서, 식 (2-19)를 식 (2-18)에 대입하면 두 솔레노이드 사이의

자기력을 구할 수 있으며, 두 솔레노이드 사이의 자기력은 식 (2-20)과 같다.

$$F = \left( \frac{\partial}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{z} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + M i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \right) \quad (2-20)$$

영구자석의 경우 표면전류  $i_p$  가 흐르는 솔레노이드로 볼 수 있다. 따라서 영구자석과 솔레노이드 사이의 자기력은 식 (2-20)에 의해 다음 식 (2-21)로 나타낼 수 있다.

$$F = \left( \frac{\partial}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{z} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + M i_1 i_p + \frac{1}{2} L_2 i_p^2 \right) \quad (2-21)$$

축 방향  $\hat{z}$  만 고려하면 자체 인덕턴스는 형상에 관련된 함수이고,  $z$  와 무관한 함수이므로 자기력  $F_z$  는 다음 식 (2-22)와 같다.

$$F_z = i_1 i_p \cdot \frac{\partial M}{\partial z} \quad (2-22)$$

#### 4. AF 액추에이터 운동방정식의 단순화

Curved beam이 적용된 액추에이터의 해석을 위해 Curved beam의 자유진동을 지배하는 미분방정식을 다음과 같은 가정 하에 해석한다.<sup>[2,14]</sup>

1. Curved beam의 재질은 탄성력을 가지고 있고 균일한 상태이다.
2. Curved beam은 단면 길이에 비해 원주방향 길이는 매우 크다.
3. 선형이론을 적용할 만큼 충분히 Curved beam의 변형이 작다.
4. 변화곡률이 존재하지 않는다.
5. Curved beam의 단면에서 Warping 저항은 무시할 정도로 작다.

그림 2-4는 Curved beam에서 임의의 점에서 좌표를 나타낸 것으로 수형 Curved beam에서 Curved beam의 한정된 각도이고,  $R$  은 Curved beam 중심선에서의 반경이며,  $L$  은 Beam의 원주방향 길이이다.

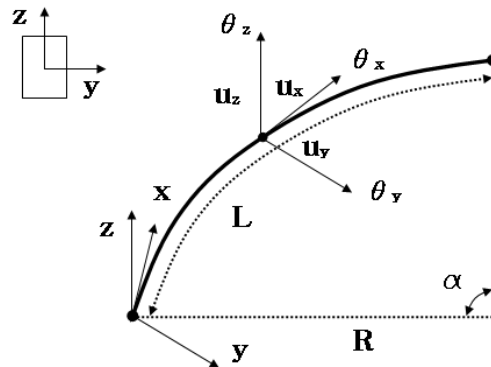


Fig. 2-4 The axis of coordinate in curved beam

y축 및 z축은 Beam의 단면적에 일치하고, x축은 Beam의 중심축에 접한다.  $u_x, u_y, u_z$  는 Curved beam의 각 단면중심에서 x, y, z축에 대응하는 변위로 정의되고,  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$  는 각 축에 대한 회전을 나타낸다.

위에서 언급한 가정 하에 Curved beam의 선형미분방정식을 구하면 다음과 같다. 식 (2-23)은 Axial displacement, 식 (2-24)는 Radial displacement, 식 (2-25)는 Vertical displacement, 식 (2-26)은 Torsional rotation을 나타낸다.

$$E A \left( u_x'' + \frac{u_y'}{R} \right) = 0 \quad (2-23)$$

$$E I_z \left( u_y''' + 2 \frac{u_y''}{R^2} + \frac{u_y'}{R^4} \right) + \frac{E A}{R} \left( u_x' + \frac{u_z}{R} \right) = 0 \quad (2-24)$$

$$E I_y \left( u_z''' - \frac{\theta_x''}{R} \right) - \frac{G J}{R} \left( \theta_x'' + \frac{u_z''}{R} \right) = 0 \quad (2-25)$$

$$\frac{E I_y}{R} \left( u_z'' - \frac{\theta_x}{R^2} \right) + G J \left( \theta_x'' + \frac{u_z''}{R} \right) = 0 \quad (2-26)$$

여기서,  $I_z, I_y$  는 각 축에 해당하는 질량관성 모멘트이고,  $E, G$ 는 각 탄성과 강성계수이며,  $J$  는 비틀림 상수이다.

식 (2-23)에서 식 (2-26)을 통해서 Curved beam의 면내 운동에 대한 미분방정식을 나타낼 수 있다. 이 미분방정식은 면외 운동에 대한 미분방정식과는 독립적으로 적용된다. 또한  $u_x, u_y$  에 대해서 연계된 방정식 꼴로 나타나며,  $u_z$  와  $\theta_x$  도 연계된 형식으로 나타난다. Curved beam의 면내 운동에 관한 거동과 면 외 운동에 관한 거동이 연계되지 않음에 따라 액추에이터에 부착된 수평 Beam의 수직 방향의 1차 진동



을 고려 할 수 있다. 수평 Beam의 관성의 영향을 고려한 운동방정식은 식 (2-27) 및 식 (2-28)과 같다.

$$m\ddot{u}_z + EI_y \left( u_z'''' - \frac{\theta_x''}{R} \right) - \frac{GJ}{R} \left( \theta_x'' + \frac{u_z''}{R} \right) = f\delta(x-L) \quad (2-27)$$

$$\rho J \ddot{\theta}_x + \frac{EI_y}{R} \left( u_z'' - \frac{\theta_x''}{R} \right) + GJ \left( \theta_x'' + \frac{u_z''}{R} \right) = 0 \quad (2-28)$$

여기서,  $m = m_{beam} + \frac{M_{B.P}}{4} \delta(x-L)$

$\rho$  : the density of the curved beam

$\delta$  : Dirac's delta function 이다.

그림 2-5와 같이 각각의 Curved beam 형태의 Leaf spring 서스펜션에 보빈과 코일 무게의 1/4이 연결되어 있으며, 이 질량은 회전을 허용하지 않고, 오직 상하운동만이 허용되며, 강체라고 가정한다.

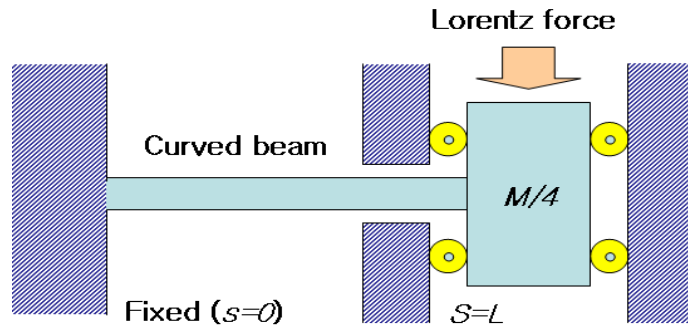


Fig. 2-5 Modeling of the suspension type actuator

Curved beam의 끝단이 고정( $s=0$ )되어 있다면, 경계조건은  $u_z=0$ ,  $u_z''=0$ ,  $\theta_x'=0$  이 된다. Curved beam 다른 쪽 끝단이 그림 2-5와 같이 보빈에 부착( $s=L$ )되어 있다면 위에 제시된 식 (2-29), (2-30), (2-31)과 같이 된다.

$$E I_y \left( u_z'' - \frac{\theta_x'}{R} \right)'' = 0 \quad \text{or} \quad u_z' = 0 \quad (2-29)$$

$$G J \left( \theta_x' + \frac{u_z'}{R} \right) = 0 \quad \text{or} \quad \theta_x = 0 \quad (2-30)$$

$$\left[ E I_y \left( u_z'' - \frac{\theta_x'}{R} \right) \right]'' + \left[ \frac{G J}{R} \left( \theta_x' + \frac{u_z'}{R} \right) \right]' = \frac{M}{4} \frac{\partial^2 u_z(L,t)}{\partial x^2} \quad (2-31)$$

따라서, 변위  $u_z$  는 경계조건을 만족하는 사인 함수의 시리즈의 합인 식 (2-32)로 나타 낼 수 있다.

$$u_z(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} q_{zi}(t) \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (2-32)$$

여기서  $q_{zi}$  는  $i$  번째 모드에서 일반 좌표계에 대한 상수이다.

식 (2-32)에 식 (2-26)을 대입하면 다음과 같은 비틀림 각에 대한 식 (2-33)을 유도할 수 있다.

$$\theta_x(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} r_i q_{zi}(t) \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (2-33)$$

여기서  $r_i = -R(i\pi x/L)^2(GJ+EI_y)/[(i\pi/L)^2GJR^2+EI_y]$  이다.

$\theta_x$  는 임의의 수평 Beam의 뒤틀림 각을 나타내는 항으로 임의대로 정해지는 것이 아니고, 식 (2-26)에서는 정의 되어야만 한다. 식 (2-32)를 (2-28)~(2-31)과 같이 동등하게 표현하면 다음 식 (2-34)와 같다.

$$\theta(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} q_{\theta_i}(t) \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (2-34)$$

여기서  $q_{\theta_i}$  는 뒤틀림 각  $\theta_x$  에 대하여  $i$  번째 모드에서 일반 좌표계에 대한 상수로 설명할 수 있다. 또한 식 (2-32)과 식 (2-34)는 수평 Beam에서 첫 번째 모드의 영향력을 고려하면 다음 식 (2-35)와 같이 전개할 수 있다.

$$u_z(x,t) = q_{z_1}(t) \sin \frac{\pi x}{L}, \quad \theta_x(x,t) = q_{\theta_1}(t) \sin \frac{\pi x}{L} \quad (2-35)$$

식(2-27) 및 (2-28)에서 제시된 미분방정식을 풀기 위해서 Galerkin's method를 사용할 수 있다.

식 (2-27)의 양변에 variation  $\delta u_z$  를 곱하고, 같은 방법으로 식 (2-28)의 양변에 variation  $\delta \theta_x$  를 곱한다.

식 (2-34)에서 제시된 첫 번째 모드 근사치를 대입하고, 두 미분방정식에서 0 부터  $L$  까지  $x$  에 대하여 적분을 하면 식 (2-36) 및 식 (2-37)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$(\ddot{q} + a_1 q_{z1} + a_2 q_{\theta1}) \delta q_{z1} = \frac{2f_y}{mL} \int_0^L \sin \frac{\pi x}{L} \delta(x-L) dx \delta q_{z1} \quad (2-36)$$

$$(\ddot{q}_{\theta1} + b_1 q_{\theta1} + b_2 q_{z1}) \delta q_{z1} = 0 \quad (2-37)$$

여기서,  $a_1 = \frac{1}{m} \left( \frac{\pi}{L} \right) \left[ EI_y \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 + \frac{GJ}{R^2} \right]$

$$a_2 = \frac{1}{mR} \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 [EI_y + GJ]$$

$$b_1 = -\frac{1}{\rho J} \left[ \frac{EI}{R^2} + GJ \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 \right]$$

$$b_2 = -\frac{1}{\rho J} \frac{1}{R} \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 [EI_y + GJ] \text{ 이다.}$$

식 (2-36) 및 (2-37)에서 variation  $\delta q_{z1}$ ,  $\delta q_{\theta1}$  는 임의의 값이므로 식 (2-38) 및 (2-39)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ddot{q} + a_1 q_{z1} + a_2 q_{\theta1} = \frac{2f_y}{mL} \int_0^L \sin \frac{\pi x}{L} \delta(x-L) dx \quad (2-38)$$

$$\ddot{q} + b_1 q_{\theta1} + b_2 q_{z1} = 0 \quad (2-39)$$

식 (2-38) 및 (2-39)의 일반해는 식 (2-40)의 제차해 및 식 (2-41)의 특수해로 구성된다

$$q_{z1} = q_{z1h} + q_{z1p} \quad (2-40)$$

$$q_{\theta1} = q_{\theta1h} + q_{\theta1p} \quad (2-41)$$

여기서,  $h$  와  $p$  는 각각 일반해와 균일해를 나타낸다.

또한, 일반해는 다음 식 (2-42) 및 (2-43)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_{z1h} = h_1 \sin \omega_1 t + h_2 \cos \omega_1 t \quad (2-42)$$

$$q_{\theta 1h} = k_1 \sin \omega_1 t + k_2 \cos \omega_1 t \quad (2-43)$$

여기서,  $\omega_1$ 은 Curved beam의 수직방향에 대한 첫 번째 고유진동수 이고,  $h_1, h_2, k_1, k_2$  는 초기 조건으로부터의 정의되는 계수들이다.

식 (2-42) 및 (2-43)에 식 (2-38) 및 (2-39)에 대입하고 외력  $f_y$  를 포함하는 항을 제거하면 다음 식 (2-44)와 같다.

$$\begin{bmatrix} a_1 - \omega_1^2 & a_2 \\ b & b_1 - \omega_1^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{z1h} \\ q_{\theta 1h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-44)$$

식 (2-44)에서 행렬식을 0으로 허용함으로 다음 식 (2-45)와 같이 1차 고유진동수  $\omega_1$  을 계산할 수 있다.

$$\omega_1 = \frac{\sqrt{a_1 + b_1} \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + 4a_2 b_2}}{2} \quad (2-45)$$

## B. VCM 액추에이터

### 1. VCM의 전자기적 특성

직선이동을 하는 액추에이터는 기존에 회전방식이 액추에이터에 비해 변환기구부가 생략되어 에너지의 손실이 줄어들었으며, 부품의 개수가 적어 고장의 원인도 줄어들게 되었다.

직선이동 액추에이터의 일종인 VCM은 영구자석에 의해 형성된 정적인 자기장 내에서 전자석 코일이 형성한 정적/동적인 유도 자기력이 형성하는 Lorentz force를 운동의 기본 에너지로 이용한다. 그림 2-6은 자기장속을 지나는 권선에 흐르는 전류  $i$  와 자속밀도  $B$  및 Lorentz force  $F$  사이의 상호관계를 나타내고 있다. 이 Lorentz force를 수식으로 나타내면 다음 식 (2-46)과 같이 나타 낼 수 있다.

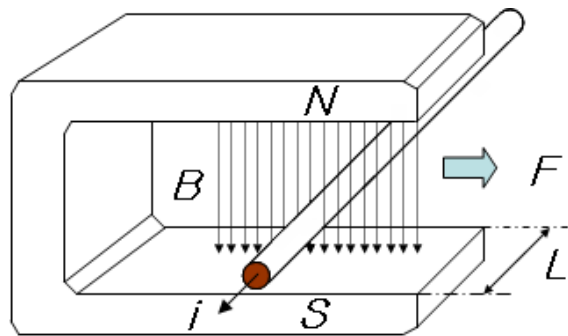


Fig. 2-6 Force acting on a current carrying conductor

$$F = L \cdot (i \times B) \quad (2-46)$$

여기서,  $F$  : Force vector

$i$  : Current vector

$B$  : Magnetic flux density vector

$L$  : Conductor length in the magnetic field

VCM은 영구자석과 코일에 흐르는 전류의 값에 의해 힘이 발생하여 액추에이터 기능을 하게 되는데 이 힘은 플레밍의 왼손법칙에 의해 생성된다. 식 (2-46)은 식 (2-47)로 재 정의 할 수 있다.

$$F = NB i L [N] \quad (2-47)$$

여기서  $N$  은 Coil winding turns이다.

가동코일과 영구자석 사이의 서로 마주보고 있는 부분의 길이를  $l_1$ , 영구자석의 각 자극의 자속을  $\Phi$  [Wb], 계자 자석의 극수를  $p$ 라 하면 자속은 다음 식 (2-48)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = \frac{l_1}{p} \cdot B \cdot l [Wb] \quad (2-48)$$

이를 식 (2-47)에 대입하여 정리하면 식 (2-49)와 같다.

$$F = N \cdot \Phi \cdot \frac{p}{l_1} \cdot i [N] \quad (2-49)$$

발생되는 힘  $F$  는 전류  $i$  에 비례함을 알 수 있다. 이때에 발생하는 힘은 플레밍의 오른손 법칙에 의해 인가되는 전압  $V$  에 따른  $i$  가 흐르며, 이로 인해 기전력이 발생한다. 또한 도체 내부에서는 이 전류  $i$  의 흐름을 방해하려는 역기전력이 발생하는데 이는 키르히호프(kirchhoff)의 제2 법칙으로부터 다음 식 (2-50)과 같이 정리 할 수 있다.<sup>[3,4]</sup>

$$V = i \cdot R + E_b \quad [V] \quad (2-50)$$

여기서,  $V$  : Potential difference for coil [V]

$i$  : Current for coil [A]

$R$  : Resistance for coil [ $\Omega$ ]

$E_b$  : Back electromotive force [V] 이다.

이때 전류  $i$  는 식 (2-51)과 같다.

$$i = \frac{V - E_b}{R} \quad [A] \quad (2-51)$$

역기전력  $E_b$  는 속도에 비례하게 되므로 식 (2-52)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_b = K_b \cdot v \quad [V] \quad (2-52)$$

이동속도는 식 (2-53)과 같다.



$$v = \frac{V - i \cdot R}{K_b} [m/s] \quad (2-53)$$

이를 전류에 관한 식으로 변환하면 식 (2-54)와 같다.

$$\frac{i = V - K_b \cdot v}{R} [A] \quad (2-54)$$

식 (2-54)를 이용하여 VCM의 이동속도와 코일에 흐르는 전류와의 상관관계를 알 수 있다.

## 2. VCM의 모델링

VCM의 운동방정식을 구하면 다음 식 (2-55)과 같다.

$$F = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad (2-55)$$

$$= m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx$$

이 운동방정식을 코일에 흐르는 전류의 항으로 나타내는 전기적인 방정식으로 유도하면 식 (2-56)에서 (2-59)와 같다.

$$F = N B i l \quad (2-56)$$

$$K_f = N \cdot B \cdot l \quad (2-57)$$

$$F = K_f \cdot i \quad (2-58)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = K_f \cdot i \quad (2-59)$$

VCM를 등가회로는 R-L직렬회로로 생각 할 수 있다. 이 등가회로의 회로방정식은 식 (2-60), (2-61) 및 (2-62)와 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_b v \quad (2-60)$$

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (2-61)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_b \frac{dx}{dt} \quad (2-62)$$

여기서 자기장에 의해 생성되는 힘  $F$  가 길이  $l$  에 대해서 항상 일정하다고 가정하고, 식 (2-59) 및 (2-62)을 라플라스 변환하여 정리하면 식 (2-63) 및 (2-64)와 같다.

$$ms^2 X(s) + csX(s) + kX(s) = K_f I(s) \quad (2-63)$$

$$LsI(s) + RI(s) = V(s) - K_b sX(s) \quad (2-64)$$

식 (2-63) 및 (2-64)에 의해 VCM의 전달함수는 식 (2-65)와 같다.

$$(Ls + R)(ms^2 + cs + k)X(s) = K_f V(s) - K_f K_b X(s)$$

$$\frac{X(s)}{V(s)} = \frac{K_f}{Lms^3 + (Lc + mR)s^2 + (Lk + cR + K_f K_b)s + kR} \quad (2-65)$$

식 (2-65)에서 시 제작한 VCM 의 마찰계수는 매우 작기 때문에 무시할 수 있으므로  $c=0$ ,  $k=0$ 이라고 가정하면 VCM에 대한 식은 식 (2-66)과 같이 재정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned}\frac{X(s)}{V(s)} &= \frac{K_f}{Lms^3 + (Lc + mR)s^2 + (Lk + cR + K_fK_\theta)s + kR} \\ &= \frac{K_f}{Lms^3 + mRs^2 + K_fK_\theta s}\end{aligned}\tag{2-66}$$

### Ⅲ. 전자기 해석 모델링

#### A. VCM의 등자속 및 자속밀도해석

VCM의 구조설계에서는 메가 픽셀급의 렌즈에 대응하는 렌즈경통의 기구부와 렌즈경통을 지지하는 Leaf 스프링의 기구부를 설계하기 위한 치수 등의 정보를 구조해석 툴인 Flux2D/3D를 이용하여 분석하였다.

자기회로 설계에서는 코일, 자석과 요크로 자기회로를 구성하고 자기해석툴과 자기회로 최적 설계프로그램을 사용하여 코일의 직경, 코일의 권수, 자석의 치수 및 요크의 치수 등 자기부에 대한 설계가 포함되어 있다. 자기회로의 구성은 여러 가지 방법으로 설계가 가능하며, 최상의 성능을 얻기 위해 각 톨마다 서로 다른 구성을 갖기도 한다.<sup>[5,6]</sup>

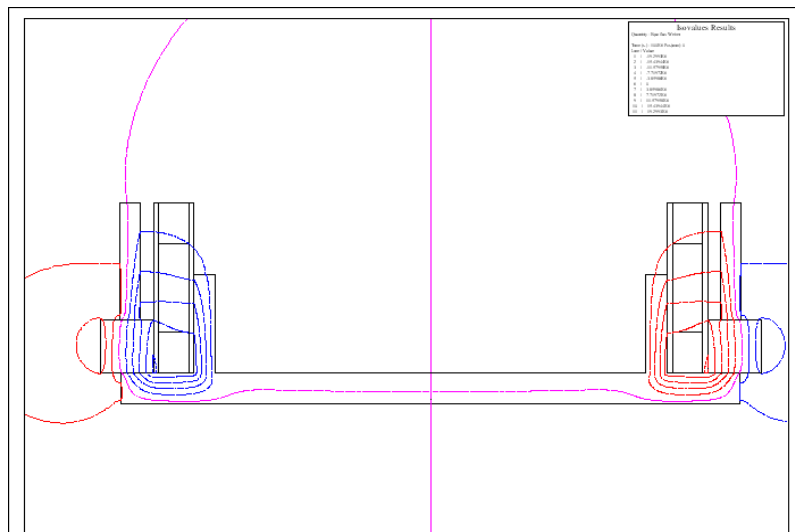
구조설계와 자기회로 설계는 개별적으로 진행하지 않고 서로 보완관계가 있다. 구조설계는 렌즈 경통의 치수와 질량을 최소화하여 자기부에서 요구되는 구동력이 작아지도록 하며 이에 따라 자기부의 전체 치수가 최소가 되도록 설계하였다.

그림 3-1은 기구부에 대한 등자속도를 나타낸 것으로 (a) 초기상태, (b) 중간상태, (c) 최종 이동상태를 모의한 것이다. 초기상태에서 최종상태에 이르기까지 등자속의 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

특히, 초기상태, 중간상태, 최대이동상태에서 자속의 흐름이 균일하며 이는 구동특성에서 히스테리시스의 영향을 최소한으로 받기 위한 설계라고 할 수 있다. 이의 가능한 이동거리(Stroke)가 작은 구조이므로 설계가 가능하다고 할 수 있다.

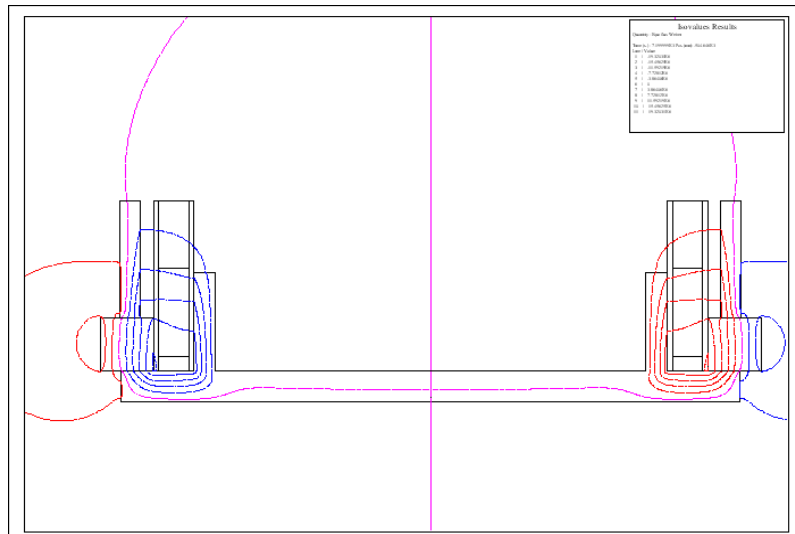
그림 3-2는 자속밀도에 대한 분석으로 (a) 초기상태 및 (b) 최종상태에 대한 자속밀도이다. 해석은 1/2 half 상태에 대하여서만 수행한 것으로 초기상태 대비 최종상태의 자속 변화량을 나타내고 있다. 최소변위 상태와 최대이동변위 상태의 자속이 거의 균일하다는 것은 히스테리시스의 영향이 작다는 것을 의미한다. 실제로 구동특성에서는 수  $\mu\text{m}$ 이내로 나타남을 시험을 통해 알 수 있었다.

그림 3-3은 3D 해석 결과로 (a) 등자속 밀도와 (b) 등자속 방향에 대한 해석을 나타낸 것이다. 자속밀도를 보다 쉽게 확인하기 위하여 3D 분석을 수행한 것이며 요오크 및 자기결합체의 등자속이 이루어짐을 확인할 수 있다.

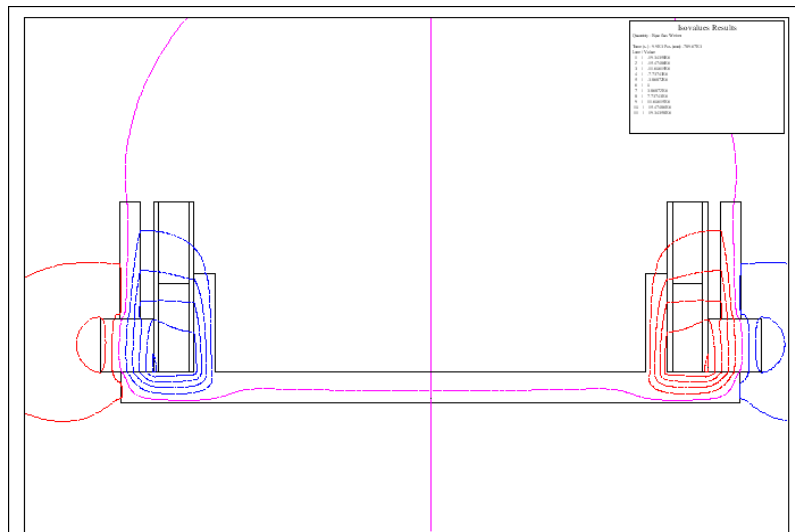


(a) Initial condition

Fig. 3-1 Continued

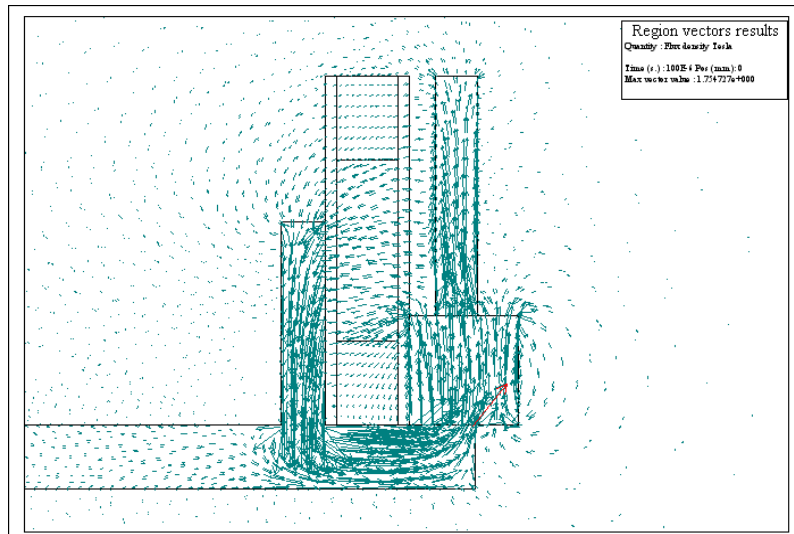


(b) Medium condition

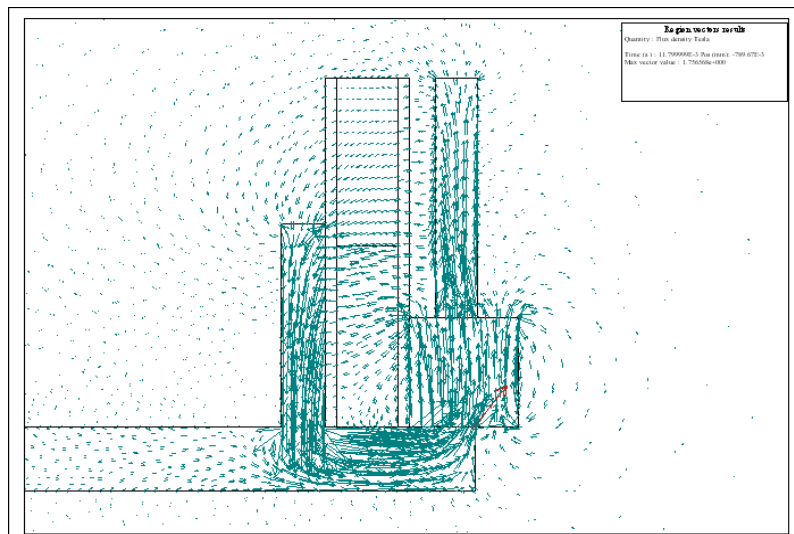


(c) Final condition

Fig. 3-1 Flux variation according to condition



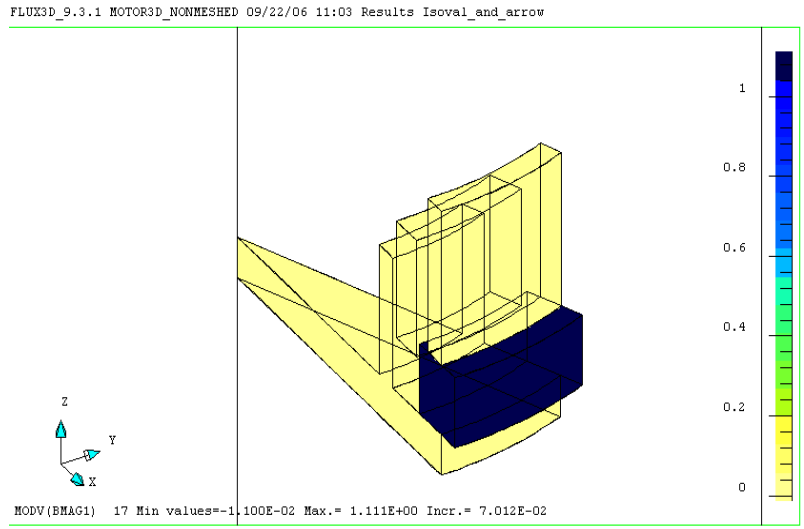
(a) Initial condition



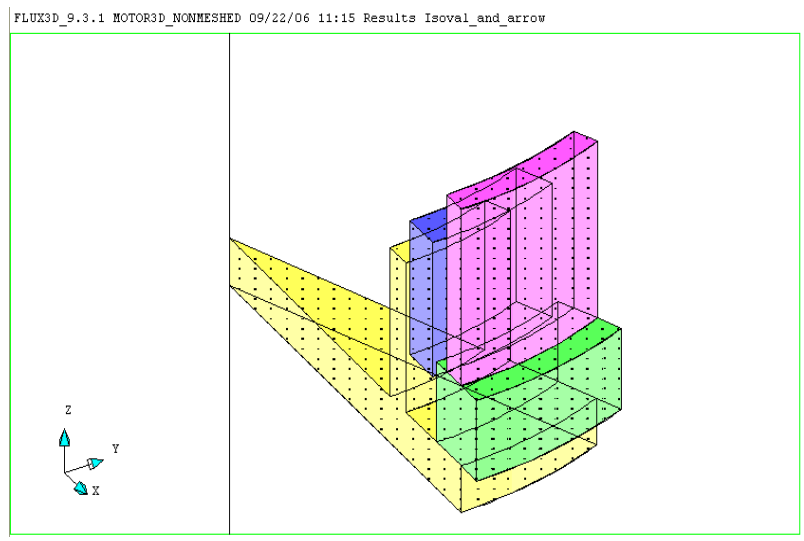
(b) Final condition

Fig. 3-2 Flux density according to condition





(a) Flux density



(b) Direction of flux

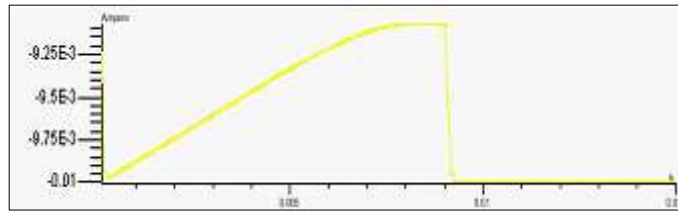
Fig. 3-3 3D simulation of flux

## B. VCM의 특성해석

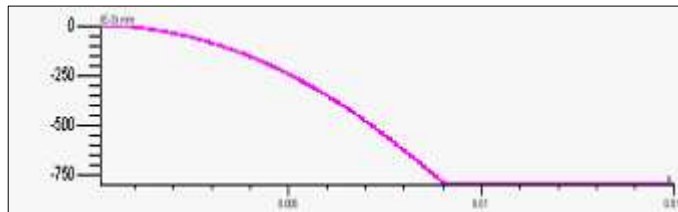
설계한 VCM의 특성을 확인하기 위하여 그림 3-4와 같이 전류, 위치, 가속도, 힘의 상관관계를 해석하였다. 이때 최대 소비전류는 0.009 [A], 임의 이동변위는 789 [mm], 유지력(Holding force)은 0.016 [N]이고 최대 가속도는 0.168 [m/s]이다.

전류는 이동변위와 비례하여 증가하며 등속으로 이동함을 확인하였다. 또한 추력(Force)은 지수적으로 증가하며 최종 목표지점에서 오버슈트가 발생하였으나 이내 유지력이 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 오버슈트의 발생은 Leaf 스프링의 자기 탄성의 영향이나 이후 일정하게 유지되었다.

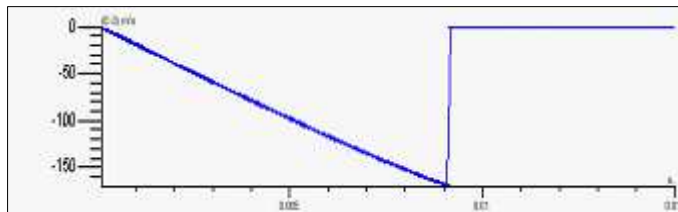
그림 3-4 (a)는 변위에 따른 전류를 모의한 것으로 최대 이동변위 부근에서 포화가 이루어짐을 알 수 있다. (b)는 변위에 따른 전류이며 (c)는 이동자의 속도를 시뮬레이션 한 것으로 정속이 이루어짐을 알 수 있다. (d)는 추력 곡선으로 최대점을 지난 부근에서 오버슈트가 발생함을 알 수 있다. (e)는 인덕턴스 전류로 그림에서 알 수 있듯이 추력은 인덕턴스와 비례하여 나타남을 확인 하였다. 앞서 등자속의 해석에서 알 수 있듯이 추력과 인덕턴스가 비례하여 나타난다는 것은 등 자속이 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 이때의 최대 인덕턴스는 0.47 [H]로 나타났다. 따라서 자기해석과 구동특성 해석이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.<sup>[7,8,9,10]</sup>



(a) Current curve

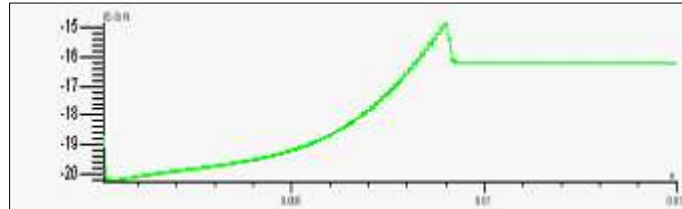


(b) Position curve

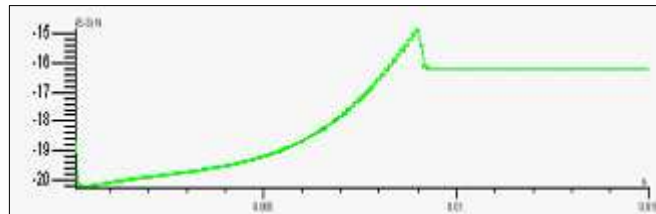


(c) Velocity curve

Fig. 3-4 Continued



(d) Force curve



(e) Inductance curve

Fig. 3-4 Modeling of VCM characteristics

그림 3-5는 이동자가 최대점 있을 때 자속의 분포를 확인하기 위한 것으로 최대점 부근인 Path\_1에서의 수평방향에 대한 자속분포 위치를 확인하기 위한 기준점이다. VCM의 단면방향에 대한 자속분포의 균일성을 이동자의 인가전압에 따른 균등 이동속도를 재현 할 수 있다.

그림 3-6의 3D는 path\_1 부분에 대한 Flux density & vector potential 해석결과를 나타낸 것으로 path\_1에 대한 부분을 본 이유는 코일이 움직일 때, 자속밀도 및 벡터 포텐셜 값을 보면 설계에 있어서 최적설계 및 힘을 고려할 수 있기 때문이다.

균등자속 분포의 적합성을 고려하여 시제품 제작시 인덕턴스의 설정 및 경통의 설계치수를 고려할 수 있다.

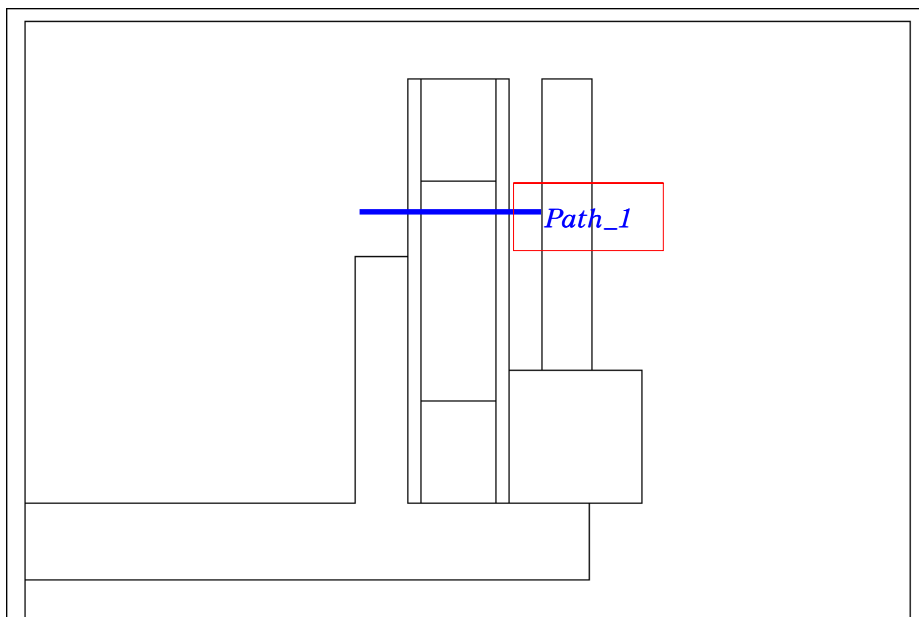
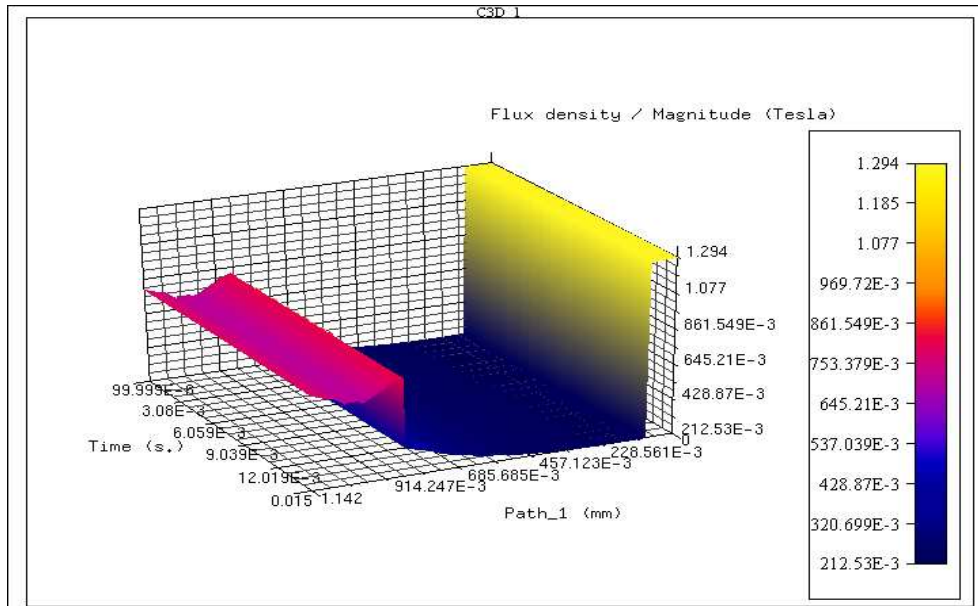
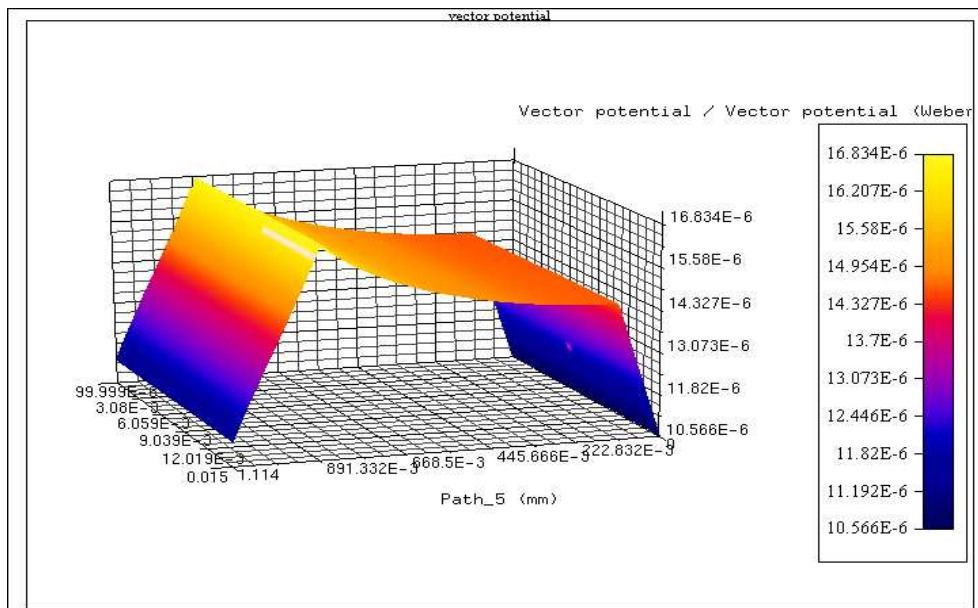


Fig. 3-5 Setting of path



(a) Flux density at path\_1



(b) Vector potential at path\_1

Fig. 3-6 Analysis of path

## IV. VCM 액추에이터 시험시스템 설계

### A. VCM 액추에이터 시제품 제작

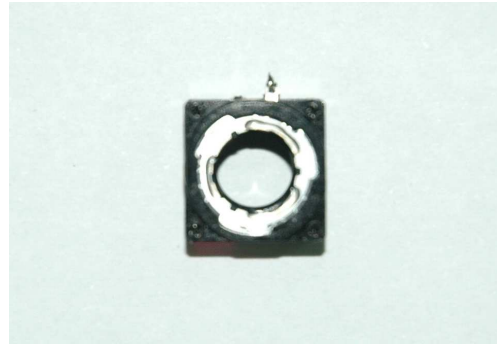
본 논문의 목표는 모바일기기 전용 카메라에 적용 가능한 초소형 VCM 액추에이터를 개발하고 그 특성을 분석하는 것이다. 설계정수는 시뮬레이션을 통하여 산정한 것이며 시제품의 구동 특성의 우수성을 입증하기 위하여 시험시스템을 설계하였다. AF 액추에이터 기능을 갖추기 위하여 Leaf 스프링을 서스펜션으로 적용하고 초기 설계는 소형으로 구성하였다. 표 4-1은 시제작한 VCM 액추에이터의 사양을 나타낸 것이다.

그림 4-1 은 실제 제작된 VCM 액추에이터의 사진을 나타낸 것으로 Leaf 스프링의 재질은 SUS 301로 요크는 투자율이 높은 Gray cast iron으로 제작하였다.

VCM 액추에이터에 감겨져 있는 코일은 보빈에 직경이  $0.06\phi$ , 코일 턴수 140회, 총 저항  $33[\Omega]$ 으로 제작하여 소비전류의 소모를 최소화 하면서 이동자의 위치를 전압에 비례하여 구동되도록 설계되었다.

Table 4-1 Design specification of AF actuator

| Physical specification |           |           | Electrical specification |       |            |
|------------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------|------------|
| Hight                  | Length    | Width     | Resistance               | Turns | Diameter   |
| 4.5 mm                 | $7.9\phi$ | $7.9\phi$ | $33\Omega$               | 140 T | $0.06\phi$ |



(a) VCM actuator



(b) Coil



(c) Yoke and magnetic

Fig. 4-1 Continued





(d) Leaf spring



(e) Body

Fig. 4-1 Prototype of VCM actuator

## B. VCM 액추에이터 특성평가 시스템

### 1. 특성평가 시스템

제작된 VCM 시제품의 구동특성을 측정하기 위하여 그림 4-2와 같이 시스템을 구성하였다. VCM의 구동특성 측정항목은 최대이동변위, 변위 응답, 히스테리시스 응답이다.

이동변위등의 구동특성을 측정하기 위하여 레이저 변위계를 이용하여 이동변위 측정시스템으로 측정하였으며 VCM 구동시 전기적 특성을 인터페이스를 통하여 PC로 제어한다. 레이저 변위계의 측정범위는 이동자의 이동범위가 크지 않으므로 측정범위의 확대성 보다는 분해능에 중심을 두어 설계하였으며 측정을 위한 범용 인터페이스카드를 사용하였다.

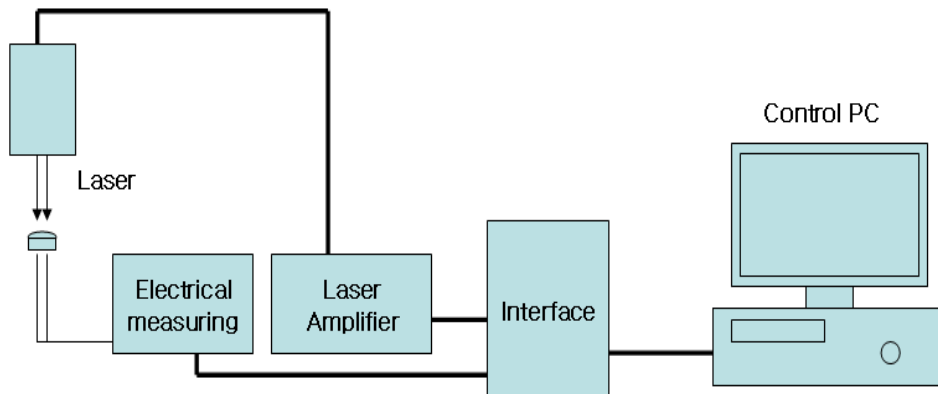


Fig. 4-2 Block diagram of measuring system for VCM operation characteristics

## 2. Hardware 구성

시 제작된 VCM 액추에이터의 특성을 평가하기 위하여 그림 4-3 의 기구 프레임에 대한 도면과 같이 VCM의 구동 특성상 변위에 대한 오차를 확인하기 위하여 수평축과 수직축을 측정하도록 하였다. [17~23]

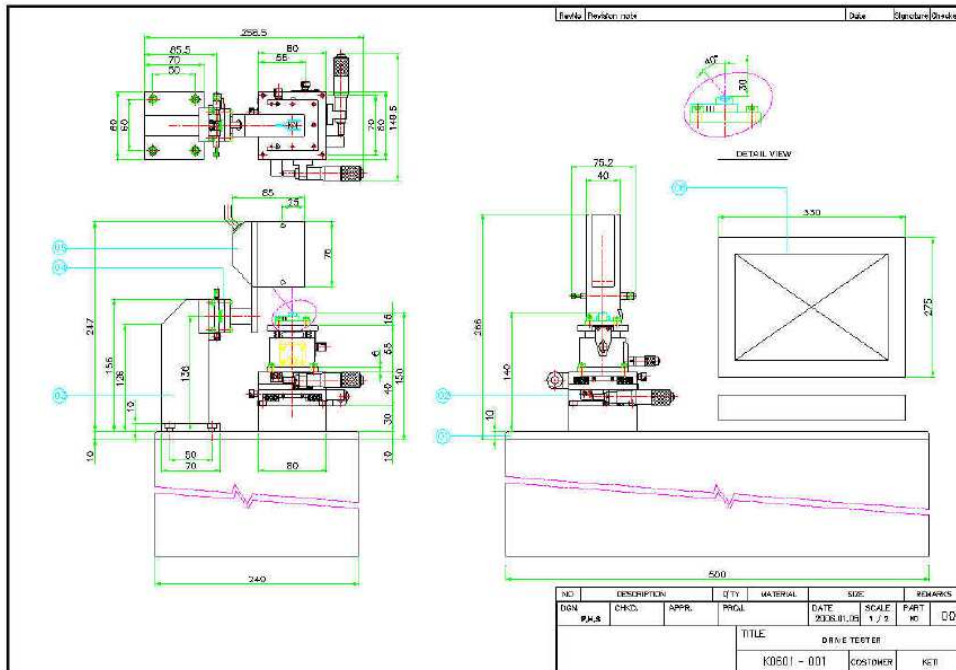
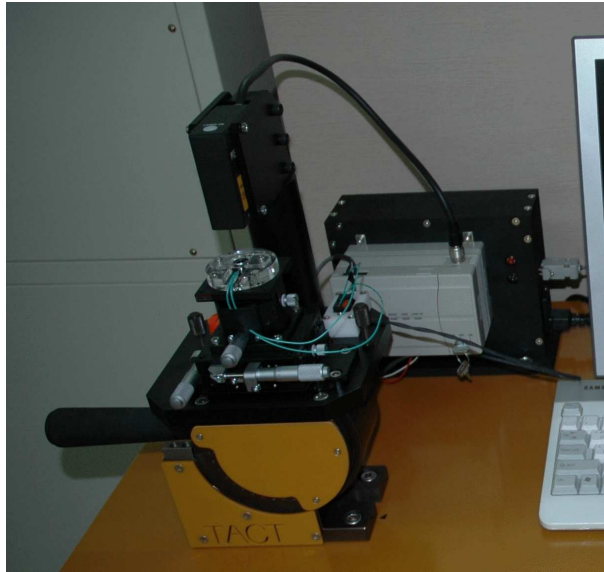


Fig. 4-3 Frame for measuring horizontal and vertical operation of VCM

VCM 액추에이터의 이동변위 측정을 위해 Linearity 0.1[%] of F.S (지르코니아 블록 게이지), Resolution 1 [ $\mu\text{m}$ ]를 사용하였으며 그 사양은 다음 표 4-2와 같다. 또한 그림 4-4에서 전체 측정시스템의 구성도를 나타내고 있다. Leaf spring의 유지력의 영향을 확인하기 위하여 VCM 이동방향의 수직 축과 수평 축을 전환할 수 있는 구조로 설계하였다.

Table 4-2 Specification of laser sensor units

| Model                    | LK031(Keyence)                |
|--------------------------|-------------------------------|
| Linearity                | 0.1% of F.S                   |
| Resolution               | 1 $\mu\text{m}$               |
| Reference Length         | 30 mm                         |
| Measure scope            | $\pm 5$ mm                    |
| IEC class                | class 2                       |
| FDA class                | class 2                       |
| Ingress protection class | IP-67                         |
| Sample rate              | 512 $\mu\text{m}$ (0.512msec) |

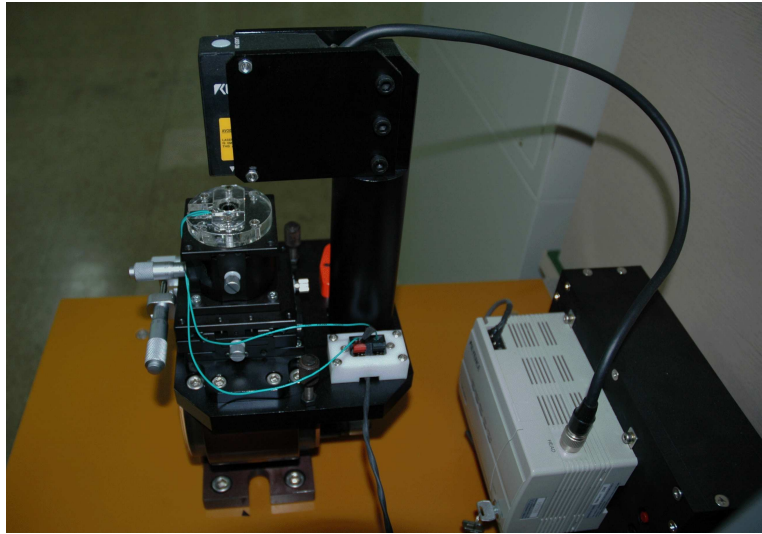


(a) Measuring table for vertical characteristics



(b) Measuring table for horizontal characteristics

Fig. 4-4 Continued



(c) Laser amplifier for displacement of VCM



(d) Measuring system for VCM

Fig. 4-4 System of measuring horizontal and vertical operation of VCM

### 3. Software 구성

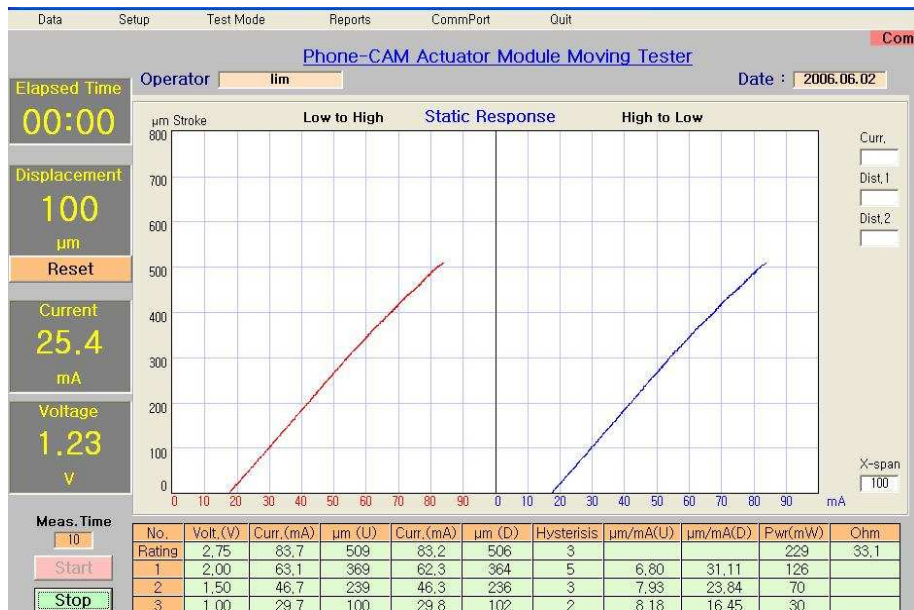
시 제작된 VCM 액추에이터의 특성 분석을 위해 VCM의 구동 특성인 최대이동변위, 변위응답, 히스테리시스 응답을 측정할 수 있도록 Visual Basic Tool로 소프트웨어를 디자인 하였으며 프로그램은 부록에 수록하였다.

등속이동을 확인하기 위하여 구동드라이버를 통해 등속으로 전압을 상승시키며 이에 대한 구동특성을 측정할 수 있도록 설계를 기본으로 하여 레이저 변위계에서 입력되는 신호를 A/D변환된 이산값으로 저장하여 Plot할 수 있도록 하였으며 Elapsed time, Displacement, Current, Voltage에 대한 출력을 할 수 있고 이동변위에 대한 특성과 변위 응답에 대한 특성을 분석할 수 있도록 구현하였다.<sup>[24~40]</sup>

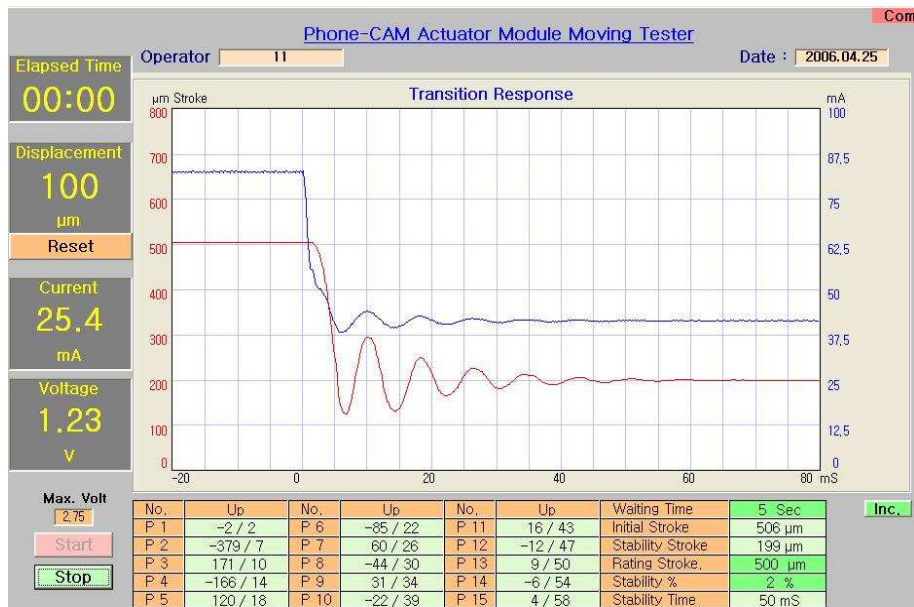
이동변위에 대한 특성은 전압을 4단계로 입력할 수 있게 하여 입력된 전압 레퍼런스 값에서의 최대 이동변위로 증가시의 전류[A], 이동변위 [ $\mu m$ ], 전류대 이동변위비 [ $\mu m/mA$ ], 최소이동변위로 감소시의 전류[A] 그리고 두 최소·최대로 이동에 대한 히스테리시스 변위폭 [ $\mu m$ ]과 소비전력[W], 저항 [ $\Omega$ ]을 나타낼 수 있도록 구현하였다.

변위응답에 대한 특성은 Initial stroke [ $\mu m$ ], Stability stroke [ $\mu m$ ], Rating stroke [ $\mu m$ ], Stability [%], Stability time [ $ms$ ]를 측정하여 나타낼 수 있도록 하였다.

그림 4-5 (a)는 이동변위에 대한 응답 특성분석을 나타낸 것이며, 그림 4-5 (b)는 변위응답에 대한 특성을 나타낸 것이다.



(a) Measure of Displacement, Hysteresis and current



(b) Measure of response

Fig. 4-5 Software for VCM characteristics



## V. 실험 및 결과

### A. VCM의 특성고찰

#### 1. 구동드라이버 설계 및 제작

이미지센서에서 측정되는 이미지 신호로부터 렌즈모듈의 구동신호를 발생시켜 액추에이터를 구동하기 위한 드라이버회로를 그림 5-1에 나타내었다. 드라이버 회로의 설계에서는 소비전력이 최소화되고 정밀제어가 가능하도록 하는데 중점을 두었다. 드라이버의 구동방식은 이미지 처리프로세서에서 지원하는 방식에 의존하며 기존의 프로세서 (엠텍비전 MV 9313)를 이용하였다. 정전압 구동을 위하여 레귤러 IC(LT1663)을 사용하였고 주 스위칭 소자로서 KTC4072V를 이용하여 VCM에 인가되는 전압을 제어하도록 설계하였다.

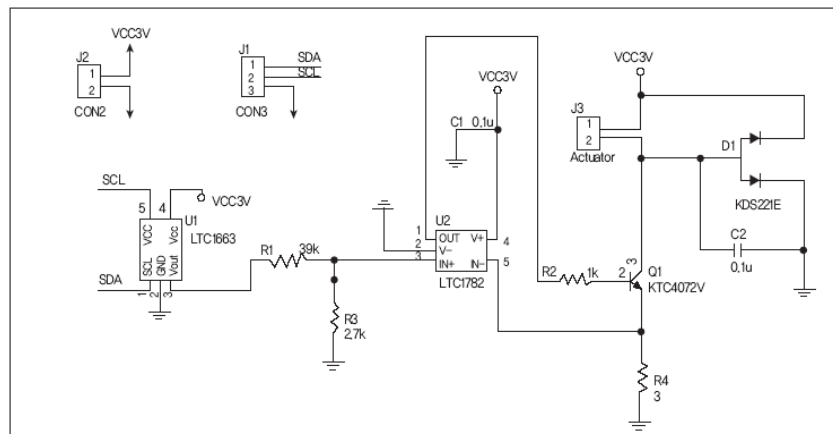


Fig. 5-1 Circuit of actuator driver

## 2. 이동변위특성

시제작 시험품에 정격 구동전압인 2.75 [V]를 인가하고 이동자의 최대이동변위를 변위계(레이저 변위계)를 사용하여 측정한 결과를 그림 5-2에 나타내었다. 전압은 2.75 [V]까지 최대 정격전압까지 인가하였을 때의 최대이동변위 값은 509 [ $\mu m$ ]로 측정되었다. 입력전압 레퍼런스 값을 1.00 [V], 1.50 [V], 2.00 [V], 2.75 [V]로 설정하였을 때 최대이동변위로 증가 시 이동변위는 각각 100 [ $\mu m$ ], 239 [ $\mu m$ ], 369 [ $\mu m$ ], 509 [ $\mu m$ ]로 측정이 되었다. 또한 동일한 전압 레퍼런스에서 최소이동변위로 감소 시 이동변위는 506 [ $\mu m$ ], 364 [ $\mu m$ ], 236 [ $\mu m$ ], 102 [ $\mu m$ ]로 측정되었다. 동일한 전압 레퍼런스에서 이동변위 대 전류 특성 ( $\mu m/mA$ )은 최소이동변위에서 최대이동변위로 증가 시 각각 8.18, 7.93, 5.80으로 나타났으며 최대이동변위에서 최소이동변위로 감소 시 31.11, 23.84, 16.45으로 측정되었다.

시제작된 액추에이터의 저항은 최대 이동변위에서 입력 전압에 대한 소비전류의 비인 33.1 [ $\Omega$ ]으로 측정되었으며 최대 소비전류는 83.2 [ $mA$ ], 이때의 소비전력은 229 [ $mW$ ]로 나타났다. 일반적으로 휴대용 모바일 기기에 사용되는 AF 액추에이터의 경우 소비전류가 작아야 하므로 최대 229 [ $mW$ ]의 소비전류는 휴대 기기의 배터리 용량을 감안했을 때 적용 가능한 수치라 사료된다.

그림 5-2는 설계 제작된 측정시스템으로 이동변위 특성을 측정한 것으로 제 특성값은 텍스트파일로 저장 가능하도록 구성하였다.

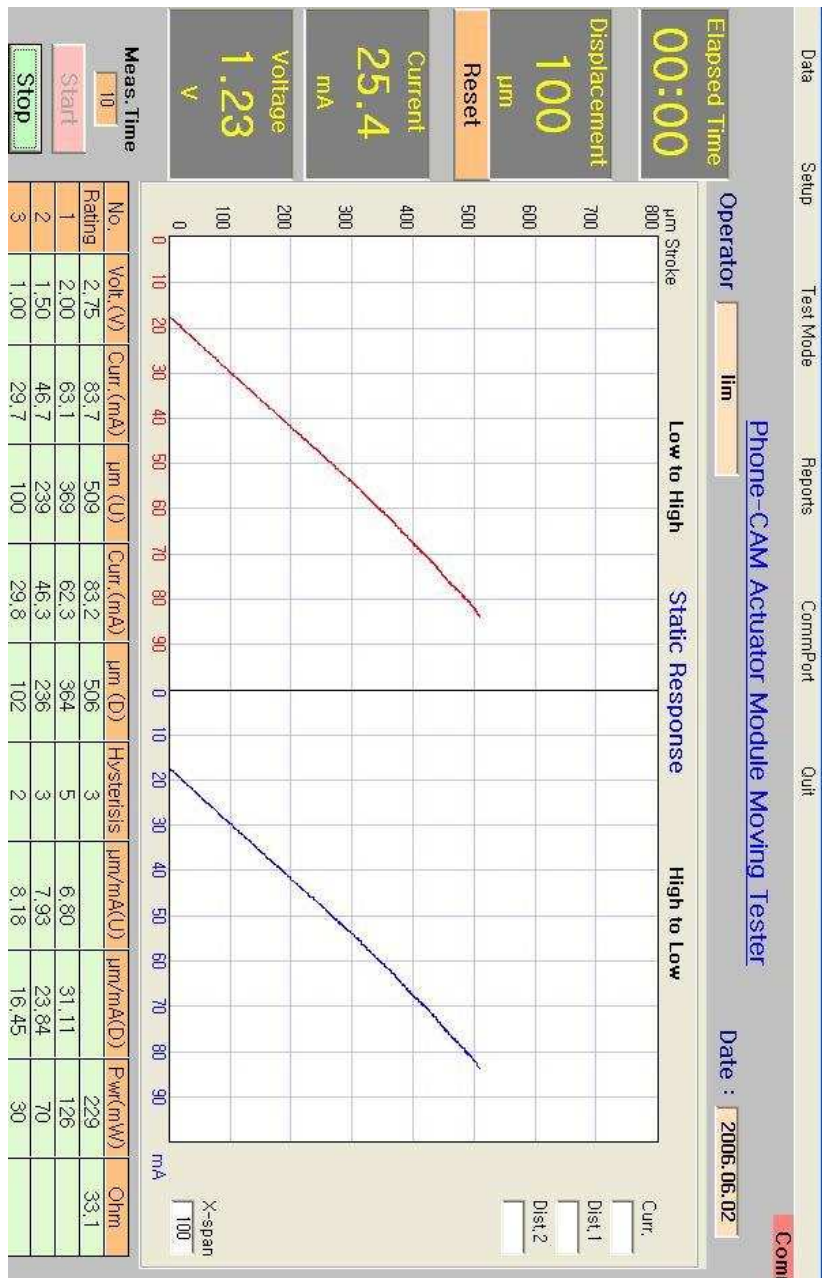
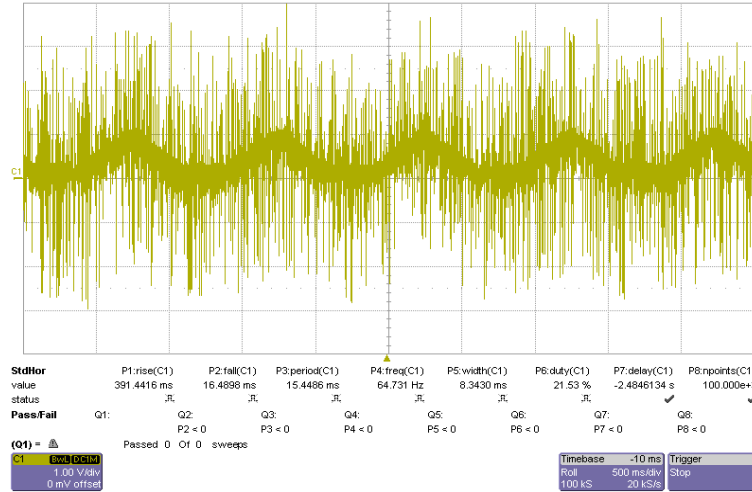
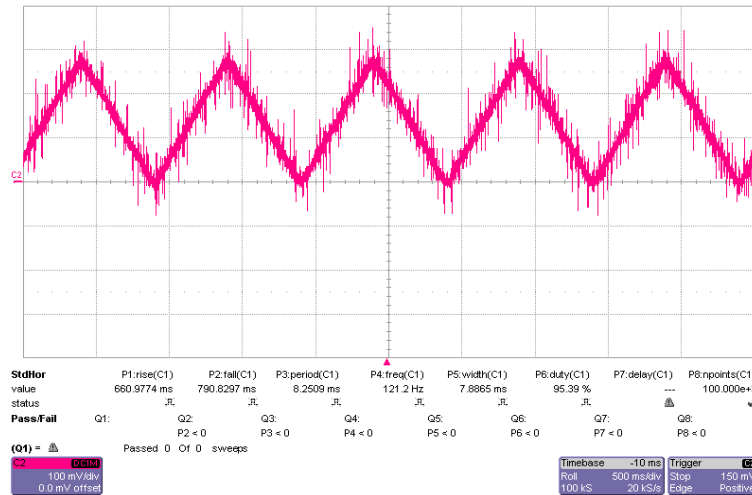


Fig. 5-2 The results of maximum displacement

이동변위에 대한 정확성을 확인하기 위하여 그림 5-3과 같이 레이저 변위계의 출력 및 입력전압을 오실로스코프로 측정된 파형을 나타내었다.



(a) Displacement measure by laser displacement meter



(b) Input voltage for VCM operating

Fig. 5-3 Displacement and input voltage for measuring

측정의 정확성을 기하기 위하여 같은 시료에 대하여 최소이동변위에서 최대이동변위까지 100,000회까지 반복시험 후 변화량을 측정하여 신뢰도를 확인 입증하였다. 표 5-1은 초기에서부터 100,000회까지 매 5,000회마다 측정 후 최대이동변위 변화량을 측정한 것이다.

내구성의 시험을 위하여 100,000회까지 시험하였고 최대이동변위 변화량에 대한 Degradation을 통계분석 전용 Tool인 Weibull 6++를 이용하여 분석한 결과를 그림 5-4에 나타내었다. 분석의 결과는 분포의 파라미터 계산값을 나타낸 것이며 최소이동변위에서 최대이동변위까지 100,000회 반복동작이후에도 최대이동 변위 변화량이 작음을 확인 할 수 있었다.

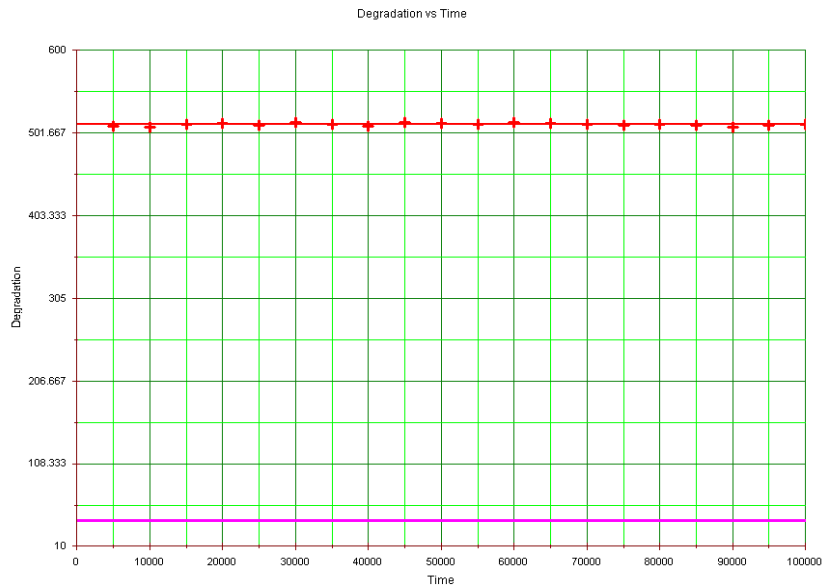


Fig. 5-4 Degradation of maximum stroke

Table 5-1 Measuring data of maximum displacement

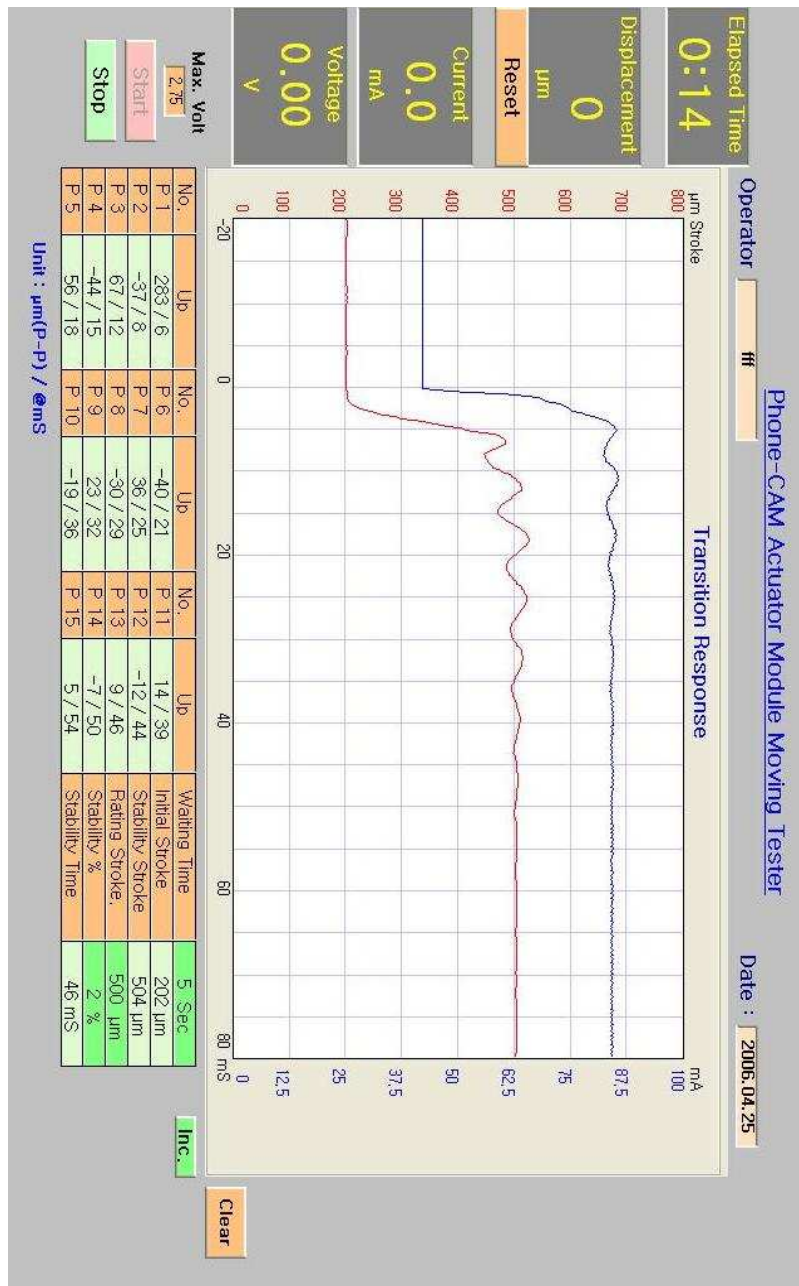
| 구분 | 왕복회수<br>(회) | 최대이동변위<br>( $\mu\text{m}$ ) | 비고            |
|----|-------------|-----------------------------|---------------|
| 1  | 5,000       | 510                         | 측정주기 5,000회   |
| 2  | 10,000      | 509                         | "             |
| 3  | 15,000      | 512                         | "             |
| 4  | 20,000      | 513                         | "             |
| 5  | 25,000      | 511                         | "             |
| 6  | 30,000      | 514                         | "             |
| 7  | 35,000      | 512                         | "             |
| 8  | 40,000      | 510                         | "             |
| 9  | 45,000      | 514                         | "             |
| 10 | 50,000      | 513                         | "             |
| 11 | 55,000      | 512                         | "             |
| 12 | 60,000      | 514                         | "             |
| 13 | 65,000      | 513                         | "             |
| 14 | 70,000      | 512                         | "             |
| 15 | 75,000      | 511                         | "             |
| 16 | 80,000      | 512                         | "             |
| 17 | 85,000      | 511                         | "             |
| 18 | 90,000      | 509                         | "             |
| 19 | 95,000      | 511                         | "             |
| 20 | 100,000     | 512                         | 최종측정 100,000회 |

### 3. 변위응답특성

변위응답특성은 정격구동전압의 50[%](1.5V)를 인가한 상태에서 100 [%](2.5 V)로 순간 가변 하였을 때, (또는 정격구동전압의 100 [%]에서 50 [%]로 순간 가변 하였을 때) 이동자의 이동변위응답을 변위계를 사용하여 측정한다.

시 제작 시험품에 정격구동 전압을 이동자의 이동변위 중간 지점인 1.5 [V]에서 이동변위의 최대 부근인 2.5 [V]로 인가하였을 때(High to low)와 이동변위의 최대부근인 2.5 [V]에서 중간부근인 1.5 [V]로 인가하였을 때(Low to high) 이동자의 변위응답을 측정한 결과를 그림 5-5, 그림 5-6, 그림 5-7에 나타내었다. 전자의 경우 변위는 202 [ $\mu\text{m}$ ]에서 506 [ $\mu\text{m}$ ]의 임계에 이르는데 최대 50 [ms]이며 후자의 경우 변위가 506 [ $\mu\text{m}$ ]에서 199 [ $\mu\text{m}$ ]의 임계에 이르는 시간 역시 50 [ms]로 나타나 측정되었다. 그림 5-7은 한 화면에 최소에서 최대점 부근으로 레퍼런스를 조정했을 때와 최대에서 최소점 부근으로 레퍼런스를 조정했을 때를 같은 화면에 플로팅하도록 구성한 것이며 동일 유사한 오버슈트를 확인하여 자속의 균일성을 확인하도록 한 것이다.

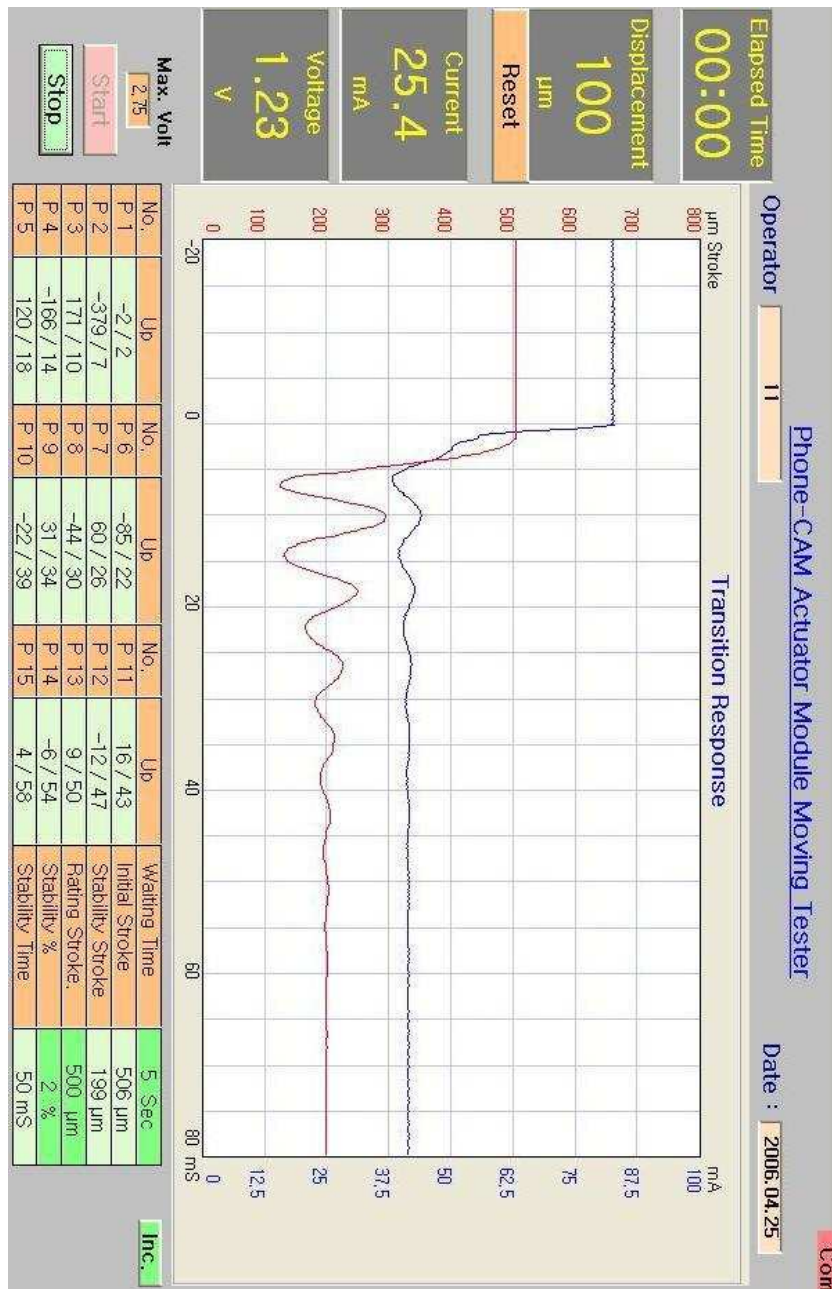
앞서 설계한 구동드라이버에는 일반적으로 사용되는 카메라폰의 배터리 전압으로 액추에이터를 구동하기 위한 구동회로일 뿐이며 임계 제어를 하기 위하여 PID 제어 등의 방법을 사용하여 고속응답을 요구하는 액추에이터에 응용하여야 할 과제가 남아있으나 본 논문에서는 액추에이터 설계의 정확성을 검증하는 시스템 설계에 중점을 두었다.



(a) Response characteristics in changing to up

Fig. 5-5 Continued





(b) Response characteristics in changing to down  
 Fig. 5-5 Response characteristics in changing reference

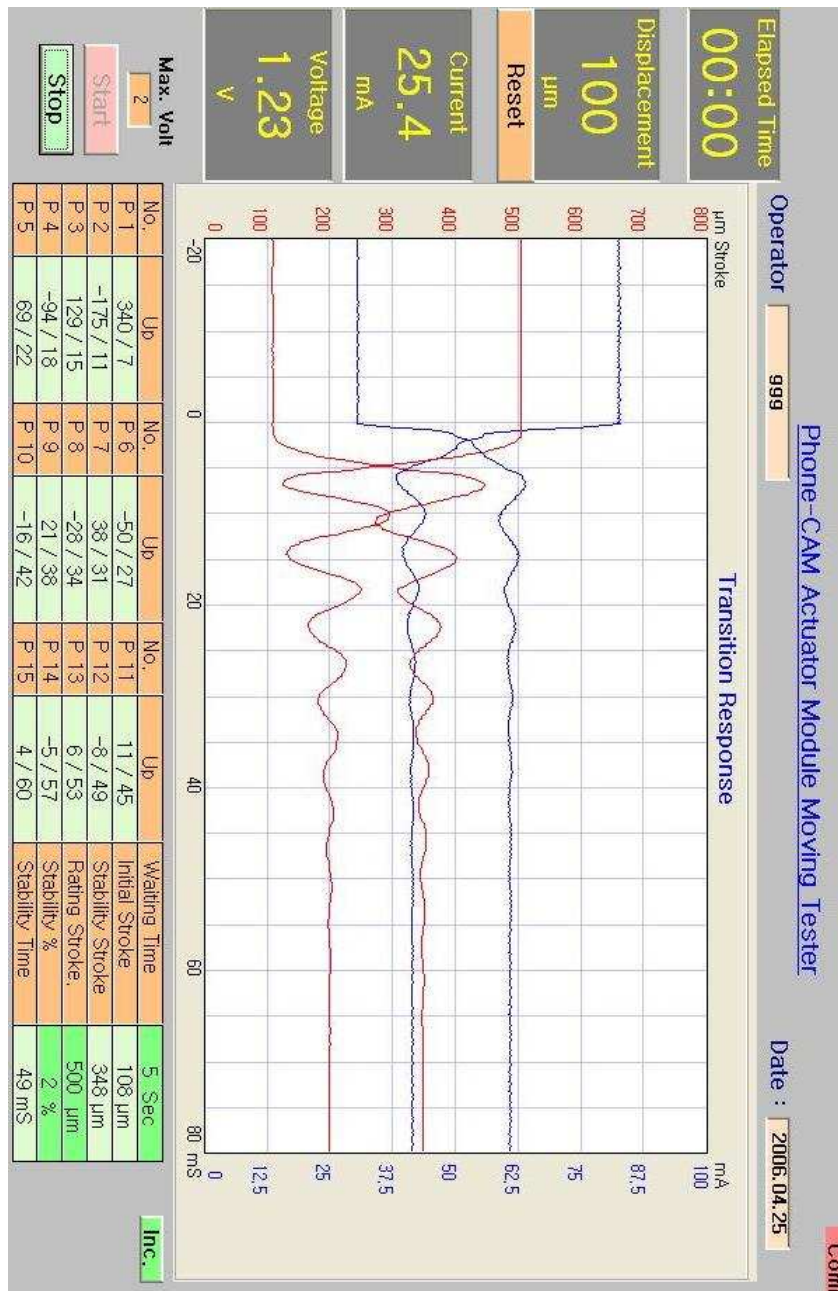
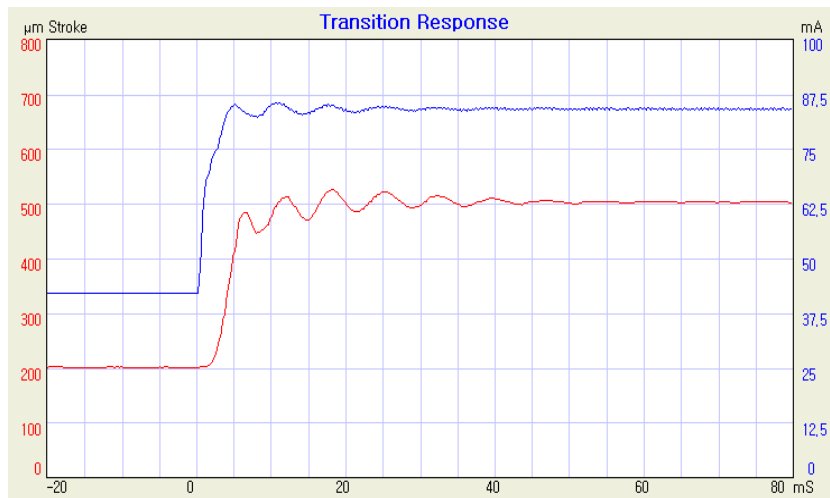


Fig. 5-6 Response characteristics in changing reference in double modes



(a) Response to up



(b) Response to down

Fig. 5-7 Displacement Response in two modes

#### 4. 히스테리시스특성

물리적 특성상 잦은 반복과 충격, 그리고 전기적 열화에 의하여 장시간 반복 사용시 코일의 노화가 진행되며, 이 특성의 확인에 가장 유용한 방법이 히스테리시스 특성이라고 할 수 있다. 특히 Auto Focus 기능을 수행하는 VCM 액추에이터의 경우 짧은 시간에 이동변위가 변하여야 하며 응답시간도 매우 빨라야 한다. 히스테리시스 변화폭이 커질수록 전압에 대한 이동변위 응답시간이 길어지게 되고 결국에는 초점기능을 상실하게 되어 Auto Focus 기능을 상실하게 된다.

본 연구에서는 히스테리시스 특성은 VCM에 0 [V]에서 2.75 [V]로 전압을 증가시켰을 때와 2.75 [V]에서 0 [V]로 전압을 감소시켰을 때 동일한 전압에서 이동변위의 정확성을 확인하기 위한 시험으로 시험품에 0 [V]에서 부터 정격구동전압까지 인가하고, 다시 구동전압에서 0 [V]까지 입력을 점진적으로 가감하여 이동자의 이동변위를 변위계를 사용하여 궤적을 측정한다. 그림 5-8은 정격구동전압 가감에 따른 이동변위의 히스테리시스특성 측정을 나타낸 것이다.

본 연구에 사용된 시제품 및 특성측정시스템으로 측정한 결과 최소 3 [ $\mu\text{m}$ ]에서 최대 7 [ $\mu\text{m}$ ]로 나타났으며 Leaf의 스프링의 탄성계수 변화에 의하여 잦은 반복 이후에 변화량의 증가를 시험을 통하여 확인하였다.

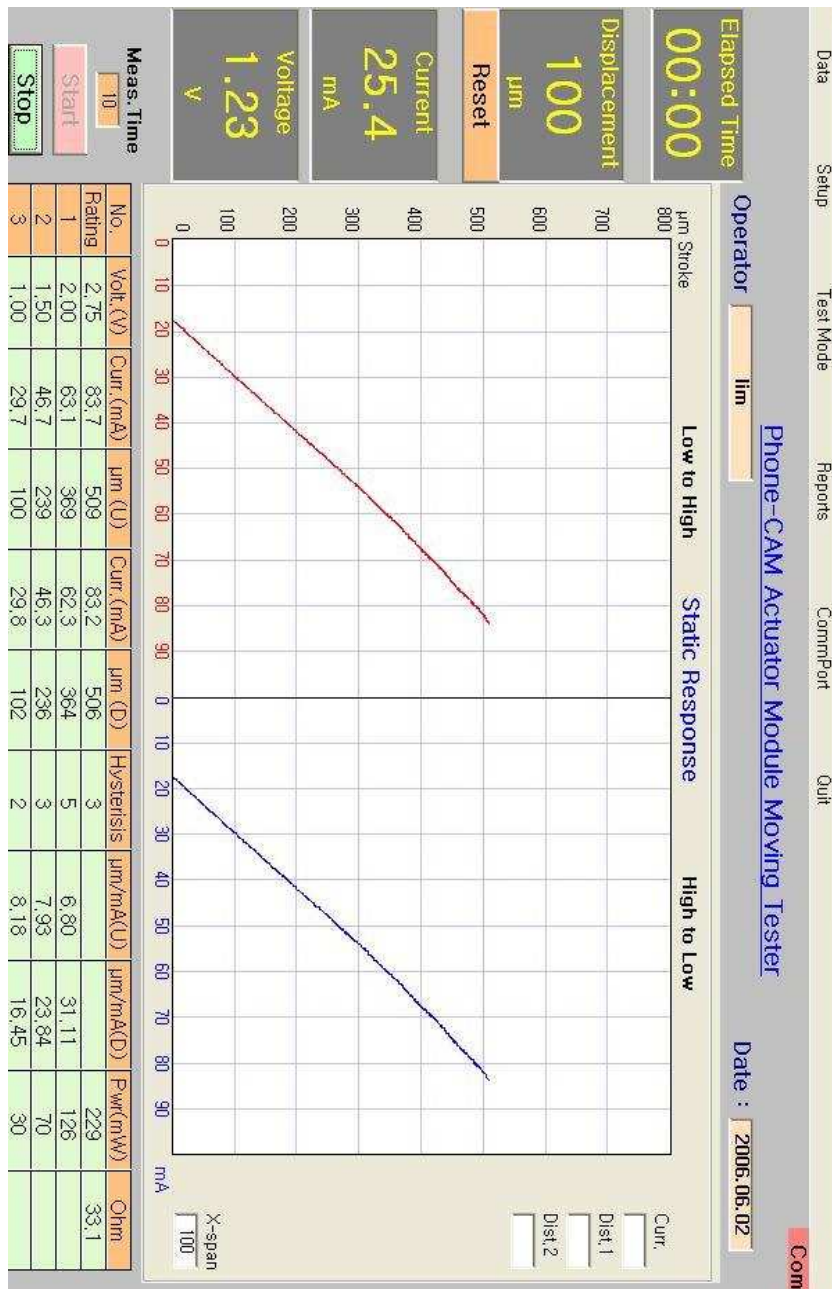


Fig. 5-8 Hysteresis characteristics of VCM

내구성에 대한 특성을 확인하기 위하여 최소 이동변위에서 최대 이동변위까지 100,000회 반복시험 후 변화량을 측정하여 신뢰성을 확인하였다. 히스테리시스 변화량에 대한 Degradation을 통계분석 전용 Tool인 Weibull 6++를 이용하여 분석한 결과를 그림 5-9에 나타내었다. 또한, 표 5-2는 100,00회 구동 후 히스테리시스 변화량을 나타낸 것으로 매 5,000회마다 측정한 데이터를 나타낸 것이다.

최소이동변위에서 최대이동변위까지 100,000회 반복동작이후 히스테리시스 변화량이 최대 15 [ $\mu\text{m}$ ]로 작음을 확인 할 수 있었다.

또한 그림 5-10은 100,000회 동작에 대한 히스테리시스 변화폭 증가를 Weibull 6를 사용하여 예측하였으며 150,000회 정도 사용 후 20 [ $\mu\text{m}$ ]까지 변화하는 결과를 도출하였다.

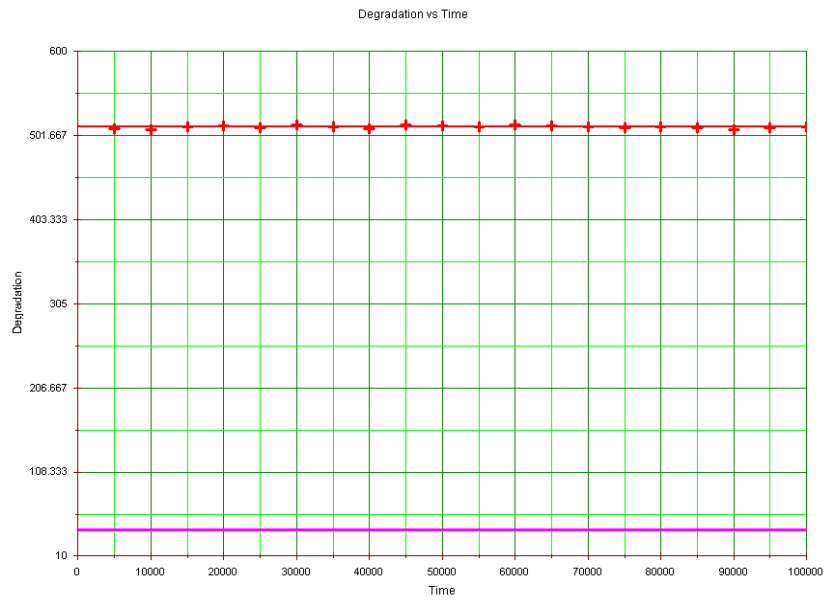


Fig. 5-9 Degradation of hysteresis

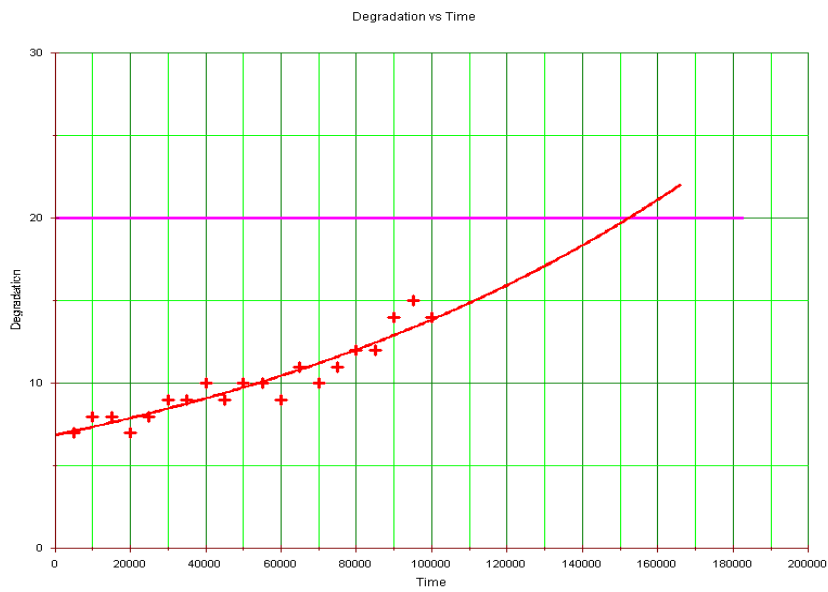


Fig. 5-10 Degradation of hysteresis in the weibull 6

Table 5-2 Measuring data of hysteresis

| 구분 | 왕복회수<br>(회) | 최대이동변위<br>( $\mu\text{m}$ ) | 비고            |
|----|-------------|-----------------------------|---------------|
| 1  | 5,000       | 7                           | 측정주기 5,000회   |
| 2  | 10,000      | 8                           | "             |
| 3  | 15,000      | 8                           | "             |
| 4  | 20,000      | 7                           | "             |
| 5  | 25,000      | 8                           | "             |
| 6  | 30,000      | 9                           | "             |
| 7  | 35,000      | 9                           | "             |
| 8  | 40,000      | 10                          | "             |
| 9  | 45,000      | 9                           | "             |
| 10 | 50,000      | 10                          | "             |
| 11 | 55,000      | 10                          | "             |
| 12 | 60,000      | 9                           | "             |
| 13 | 65,000      | 11                          | "             |
| 14 | 70,000      | 10                          | "             |
| 15 | 75,000      | 11                          | "             |
| 16 | 80,000      | 12                          | "             |
| 17 | 85,000      | 12                          | "             |
| 18 | 90,000      | 14                          | "             |
| 19 | 95,000      | 15                          | "             |
| 20 | 100,000     | 14                          | 최종측정 100,000회 |



## B. 영상특성시험

### 1. 자동초점 조절기능 시험장치

카메라모듈의 시험방법은 기본적으로 카메라 모듈의 특성을 측정할 수 있는 특성시험기를 그림 5-11과 같이 구성하여 측정한다. 카메라 모듈의 특성은 크게 전기적인 특성과 영상적인 특성으로 구분하여 측정하며 전기적인 특성검사는 Open/Short 검사, 동작 및 대기 모드시 소비전류 검사에 대하여 측정한다. 영상적인 특성은 포커스상태검사, 해상도검사, 색재현검사, Dark Defect검사, Dim Defect검사, Line Defect검사를 하는게 일반적이며 본 논문에서는 자동초점기능 수행의 우수성에 중점을 두어 특성시험을 진행하였다.

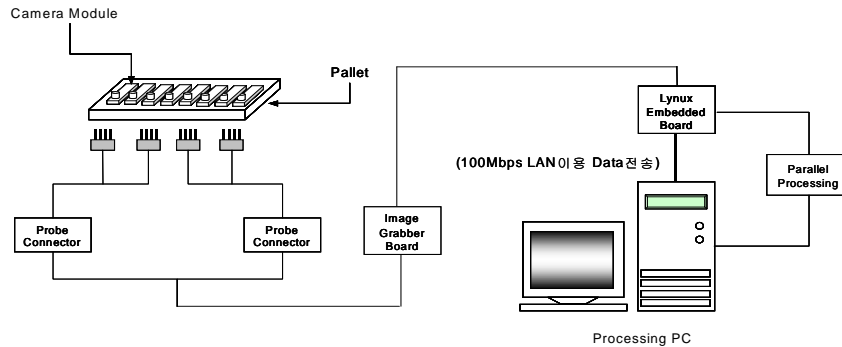
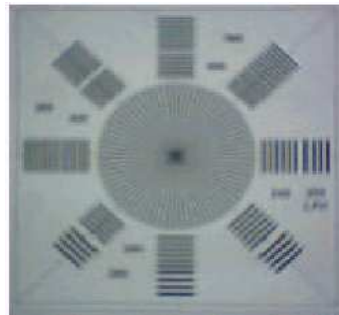
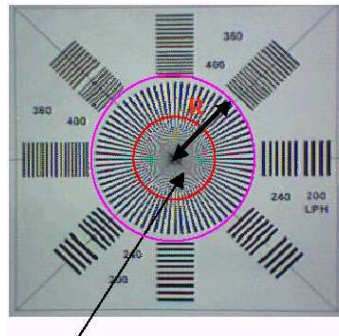


Fig. 5-11 Block diagram of camera module characteristics

포커스상태시험은 카메라모듈에 액추에이터를 장착한 후 동작상태에서 카메라모듈과 부록의 시험도표 1(또는 KS C IEC 61146-1 test chart No.3)를 검사도표의 화살로 제한한 프레임이 스캔 하의 모드에서 모니터 상에 디스플레이 된 픽처의 가장자리와 정확히 일치하도록 조정된 상태로 조정된 후 출력을 육안으로 판별한다. 그림 5-12 (a)에서와 같이 Focusing의 엘리어싱 미존재와 그림 5-12 (b)와 1/2 R 안 영역 안쪽에 엘리어싱이 존재(적합)를 나타낸 것이다.



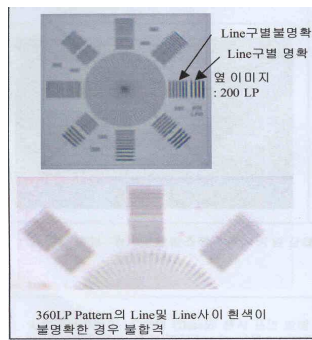
(a) No exist of aliasing



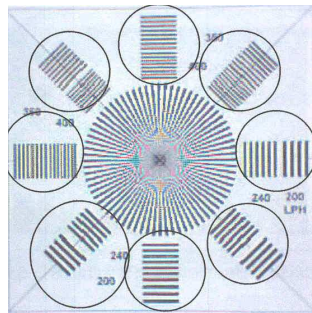
(b) exist of aliasing

Fig. 5-12 Imaging characteristics of focusing

또한, 해상도를 측정하기 위하여 동작상태에서 카메라모듈과 부록의 시험도표 1(또는 KS C IEC 61146-1 test chart No.4 or No.5)를 검사도표의 화살로 제한한 프레임이 스캔 하의 모드에서 모니터 상에 디스플레이 된 픽처의 가장자리와 정확히 일치하도록 조정한 후 출력상태를 육안으로 판별한다. 그림 5-13은 출력된 영상의 해상도 판별을 나타낸 것이다.



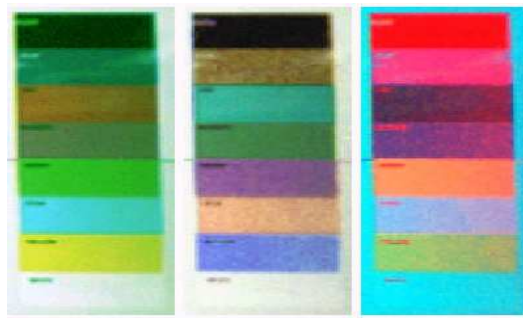
(a) LP distinction 1



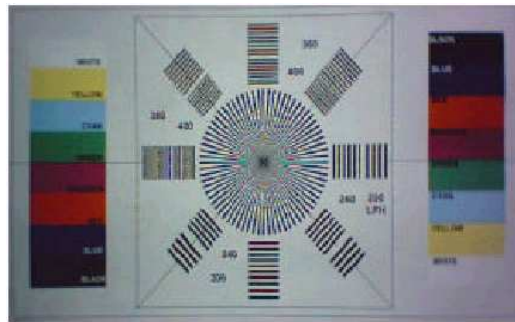
(b) LP distinction 2

Fig. 5-13 Distinction of resolution

색재현시험은 동작상태에서 카메라모듈과 부록의 시험도표 2(또는 KS C IEC 61146-1 test chart No.8)를 검사도표의 화살표로 제한한 프레임이 스캔 하의 모드에서 모니터상에 디스플레이 된 픽처의 가장자리와 정확히 일치하도록 조정한 후 출력상태의 White balance, 색반전, 색 섞임을 육안으로 판별한다. 그림 5-14는 색재현의 예시를 나타낸다.



(a) Whitebalance fail, color mix, color reverse



(b) Color output

Fig. 5-14 Color reappearance

본 연구에서의 액추에이터 시제품을 사용하여 이미지센서 및 기타 회로 부를 포함하는 카메라 모듈을 구성하여 자동초점 조절기능이 동작하는 경우와 동작하지 않는 경우에 대한 이미지 비교를 위한 블록 다이어그램을 그림 5-15에 나타내었다.

또한, 액추에이터 시제품의 자동초점 조절기능이 동작하는 경우와 동작하지 않는 경우에 대한 확인을 위하여 그림 5-16와 같이 컨버터를 구성하여 컬러차트를 촬상하였다. 또한 드라이버와 이미지센서 영상처리 신호 변환을 위하여 컨버터 보드를 통하여 구동하였다. 그림 5-17은 컨버터 보드사진을 나타낸 것이다.

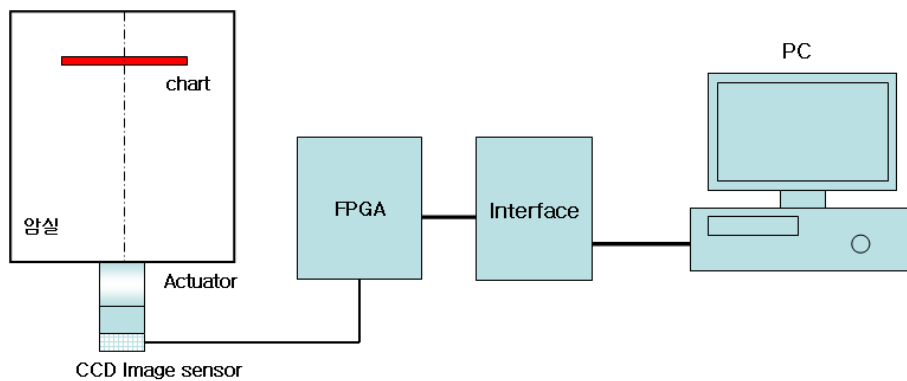


Fig. 5-15 Block diagram of auto focus function test

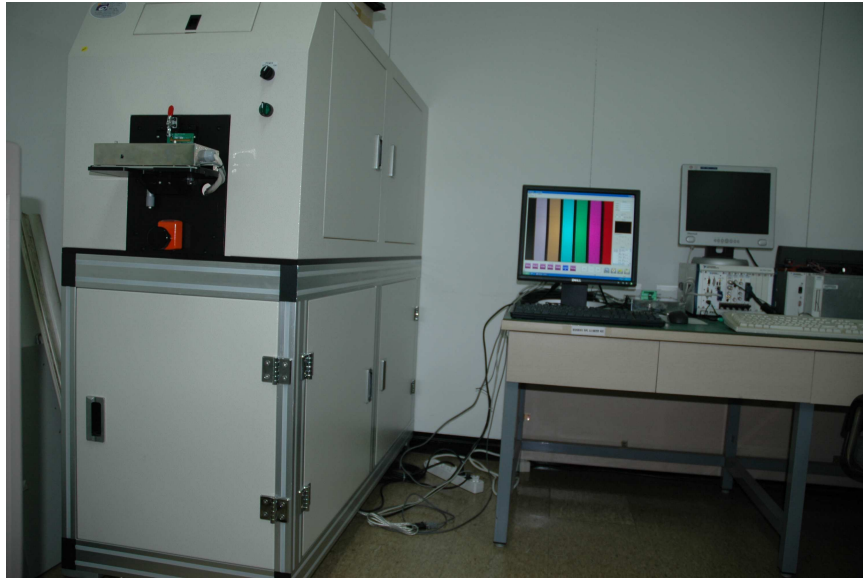


Fig. 5-16 Equipment for measuring the color bar

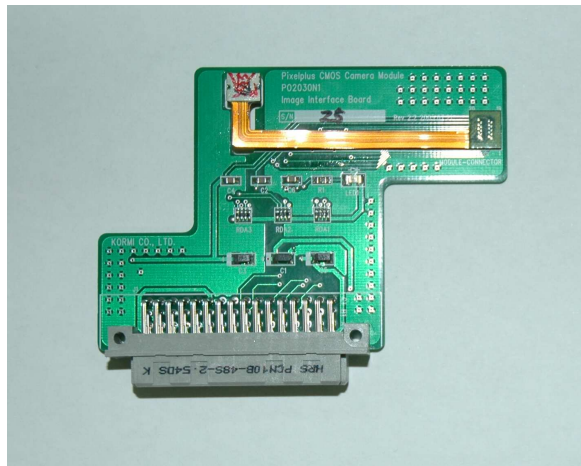


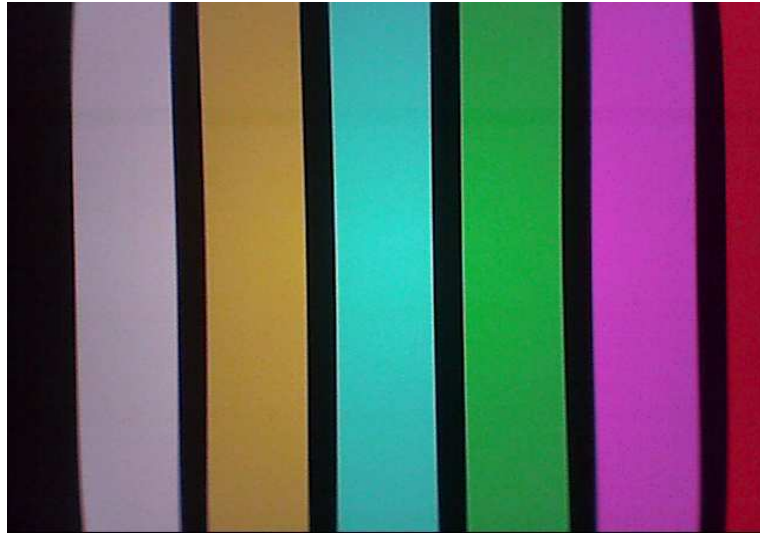
Fig. 5-17 Converter board for driver circuit

## 2. 자동초점조절 기능시험

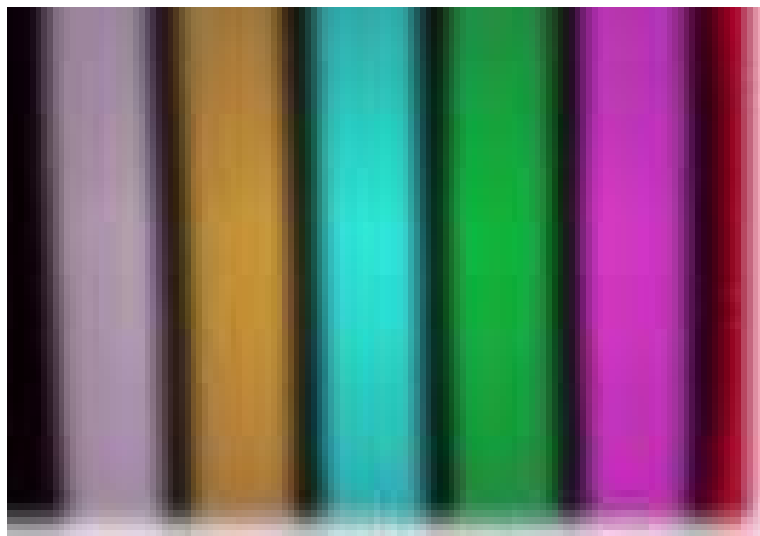
그림 5-18 (a)는 자동초점기능을 포함하는 액추에이터를 가지는 카메라 모듈로 컬러바 차트를 촬상한 영상화면이고 그림 5-18 (b)는 자동초점기능을 수행하는 액추에이터를 포함하지 않는 카메라 모듈로 컬러바 차트를 촬상한 영상을 나타낸 것이다.

시험장치는 기존의 카메라모듈 시험장치에 시 제작한 액추에이터 시제품을 장착하여 액추에이터의 기능을 컬러 바 차트의 촬상된 출력값을 육안으로 검증하는 시험을 진행하였다.

두 사진이미지로부터 자동초점조절기능에 의해 보다 선명한 이미지 확보가 가능함을 알 수 있다.



(a) Controlled auto focusing



(b) Uncontrolled auto focusing

Fig. 5-18 Image compare on the auto focus



## VI. 결론

본 논문에서는 자기장을 이용하여 모바일기기에 장착이 가능한 자동초점(Auto focus) 조절용 액추에이터를 제안하였고 적용 타당성을 입증하고 동특성을 해석하기 위해 자기해석과 구조해석, 실험을 통하여 우수성을 입증하였다.

소형화의 전단계로서 실제 시제품을 제작하여 실험을 수행하였으며 일반적인 모바일 기기의 배터리 인가전압인 2.75 [V]에서 원활한 구동이 이루어짐을 제작한 구동특성 시험장비를 통하여 확인하였다.

본 연구에서 제안하고 시제작한 소형 자동초점조절 액추에이터는 렌즈의 탑재와 공간적 제약이 있으므로 렌즈 홀더가 차지하는 공간을 줄이기 위해 원통형으로 채택하였고 자동초점조절 액추에이터는 상하방향의 운동만 요구되므로 광픽업 액추에이터에서 사용되는 Leaf spring 을 적용하여 폭을 넓혀 렌즈 홀더 자체의 Tilt를 억제하는데 중점을 두어 제작한 결과, 변위이동특성, 변위응답, 히스테리시스 특성이 우수하였고 이미지 자동초점조절이 잘 수행됨을 확인하였다.

일반적으로 자동초점조절용 액추에이터의 구동특성은 레이저 변위계와 부수 장비들을 조합하여 부분적으로 분석하였으나 본 논문에서 제안한 시험측정 항목 및 방법으로 측정시스템을 제작하여 효율적인 구동특성을 분석할 수 있었다.

연구의 목표치는 일반적인 모바일 기기에서 사용되는 인가전압인 2.75 [V]에서 509 [ $\mu\text{m}$ ] 이상의 구동변위를 실행하는 것을 확인하였으며, 또한 최소이동변위에서 최대이동변위까지 100,000회 왕복시험후 최대이동변위 및 히스테리시스 변위량이 작아 내구 신뢰성도 확보되었음을 실험을 통하여 입증하였다.

본 논문에서는 시 제작된 액추에이터의 특성을 평가하기 위해 자체 제작한 레이저 변위센서를 응용한 특성평가시스템으로 최대이동변위특성, 변위응답특성, 히스테리시스 응답특성의 시험항목으로 제작된 액추에이터의 구동특성의 우수성을 입증함으로써 실제 제작된 액추에이터에 대한 유한요소 해석치와 실험치가 유사한 결과로 적용 타당성을 입증하였다.

향후 전개되는 카메라모듈의 영역에서는 300만 화소부터 기본적으로 자동초점 기능 구현은 기본이 될 것이며, 광학 줌 탑재 및 모듈 크기의 소형화가 급성장할 것임에 본 논문의 구동특성 결과 자동초점조절 액추에이터 개발에 기여할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Alex Babinski, "Acceleration Feedback Design for Voice Coil Actuated Direct Drive", Proceedings of the American Control Conference, San Diego, 1999.
- [2] S. A. Nasar, "Electromechanics and Electric Machines", J. Wiley, 1983.
- [3] Young-Bong Bang, Toshiro Higuchi, "Development of Micro Drilling Machine Using Voice Coil Motor", Journal Japan Soc precision Engineering, Vol.32, No.2, pp.116-121, 1998.
- [4] 김주현, "힘의 위치 비선형성을 보상한 Voice Coil Motor 의 정밀 위치 제어", 부산대학교, 2005.
- [5] 신영철, "초소형 선형구동 VCM 액츄에이터에 관한 연구", 서강대학교, 2005.
- [6] 정명진, "카메라표의 광학증 및 자동 초점조절용 액츄에이터", 월간 전자부품, 2003.
- [7] Derek Crail, "Magnetism", 1997.

- [8] Volterra, E. and Gaines, "Advanced Strength of Materials", Prentice-Hall, 1971.
- [9] Y. B. Yang and S. R. KUO, "Effect of curvature on stability of curved beams", Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers 113, 1987.
- [10] Haessig, D., and B. Friedland, "On The Modeling and Simulation of Friction", Proc. ACC, San Diego, pp. 1256-1261. 1990.
- [11] H. Wakiwaka, "Simplified Thrust Limit Equation of Linear DC Motor", IEEE, Transaction on magnetics, Vol.32, No.5, 1996.
- [12] Y. B. Yang and S. R. KUO, " Theory and Analysis of nonlinear Framed Structures", Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, Chapter 7, 1994.
- [13] C. M. Wu, "Dynamic response of curved bridges due to high speed trains and vibration of continuous bridges", Master's Thesis, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 1998.

- [14] Roald. K. Wangsness, " Electromagnetic Fields", 1979.
- [15] S.A.Narsar, "Linear Motion Electric Machine", John Weily & Sons, INC., New york, 1976.
- [16] Lee, S. Y. and Kim, S.K., "Trends and Mechanical Issues in Optical Disk Drivers", International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Anaheim, CA, USA, ISPS Vol.4, pp.81-90, 1998.
- [17] Lee. S. Y., Kim, S, "Design and Vibration Analysis of a New Optical Disk With Intial Stress", 11th annual Symposium on Information Storage and Processing Systems, Santa Clara, 2000.
- [18] Kim, S. K., Lee, S. Y., Kim, J. Y., "Design Considerations for a Mobile Optical Disk Drive with Optical Flying Head", 13th Annual Symposium on Information Storage & Processing Systems Conference, Santa Clara, CA, pp.106-107, 2002.
- [19] C. L. Hwang, M. H. Wei, W, J. Jeong, "Non-circular cutting with a lathe using a three stage intelligent controller", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol.13, No.3, pp.181-191, 1997.

- [20] Lee. S. Y., Kim, S, "Design and Vibration Analysis of a New Optical Disk With Intial Stress", Journal of Information Storage and Processing Systems, Vol.3, No.1, pp.177-184, 2001.
- [21] Woo Sung Yang, Seung Yop Lee, Tae Seoung Kwon, Soo Kyung Kim, "Ultra Small Pick-Up Actuator Design for a CF Type || Optical Disk Drive", International Symposium on Optical Memory 2004, Jeju Korea, pp.201-202, 2004.
- [22] 사재천, "틸트저감을 위한 광픽업 액츄에이터 서스펜션 설계와 연속체의 동적 안정성 연구", 석사학위논문, 서강대학교 기계공학과, 2001.
- [23] In Mook, Choi, Dong June Choi, Soo Hyun Kim, "Long stroke tracking actuator for both coarse and fine motion in optical disk drives", Mechatronics, Vol13, pp.259-272, 2003.
- [24] 이준우, 김병희, 장인배, "보이스코일 액추에이터를 기반으로 한 고정밀 직선이송시스템의 위치결정", 산업기술연구, 제19집, pp.1-6, 1999.
- [25] Herbert A. Leupold, "Approaches to Permanent Magnet

Circuit Design", IEEE Transaction on Magnetics, Vol.29, No.6, pp.27-35, 1993.

[26] Armstrong Helouvry, B., "Control of Machines with Friction", Kluwer Academic Publishers, Boston, Ma., 1991.

[27] J. H. Jang, H. C. Chae, C. S. Han, "Dynamic Modeling and Simulation of Friction Phenomenon", 추계학술대회논문집 A, 대한기계학회, pp 732-737, 1996.

[28] Lim C. M., Hiyama T., "Application of Fuzzy Logic Control to a Manipulator", IEEE Robotics and Automat., Vol.2, pp.668-691, 1991.

[29] H. S. Chang, S. E. Baek, Y. K. Byun, "Modeling of Provt Friction using Relay Function and Estimation of its Frictional Parameters". Proceedings of the American Control Conference, San Diego, pp. 3784-3789, 1999.

[30] Rabelo L., "Intelligent Control of Robotic Arm Using Hierarchical Neural Network Systems", Preceedings of IJCNN-91, pp.747-752, 1991.

- [31] 이왕헌, "메카트로닉스를 위한 모터제어 기술", 성안당, 1998.
- [32] 송진일, "수치제어장치에서의 Notion Control", 1999.
- [33] 박민규, "VCM을 이용한 고속/정밀 위치제어시스템의 모델링 및 제어에 관한 연구", 한양대학교, 2000.
- [34] BEI KImco Magnetics Division, "Voice Coil Actuators an Applications guide", 2000.
- [35] BEI Electronics, Inc "Moving Coil Actuator Utilizing Flux-Focused Interleaved Magnetic Circuit", United States Patent Jun,10, 1993.
- [36] Young-Bong Bangm Toshiro Higuchi, "Drill Breakage Detection and Measurement of Distance to the Drilling surface on the Micro Drilling Machine Using Voice Coil Motor", Journal Japan Soc Precision Engineering, Vol.33, No.1, pp.15-20, 1999.
- [37] David C. Jiles, "Numerical Determination of Hysteresis Parameters for the Modeling of Magnetic Properties Using the Theory of Ferromagnetic Hysteresis", IEE Transactions on Magnetics, Vol.28, No.1, pp.27-35, 1992.

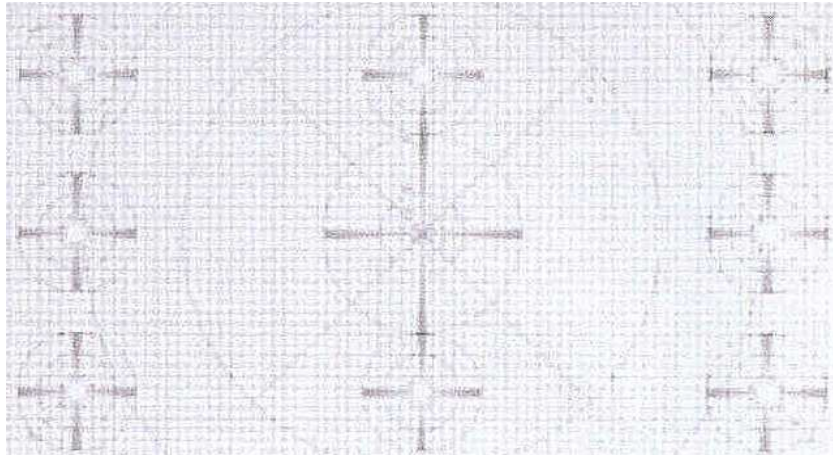


- [38] W. D. Robertson, "The Optimal design of a Rotary Type Actuator For Magnetic Disk Driver", 1988.
- [39] H. S . Lee. "Robust Digital Tracking Controllers for High Speed / High Accuracy Positioning Systems", Graduate Division of the Univ. of California at Berkeley, 1994.
- [40] Dupont, P., "Avoiding Stick-Slip in Position and Force Control through Feedback", Proc. of the IEEE International Conf. on Robotics and Automation, 1991.

## 부 록

### 1. Focus 상태 테스트 차트

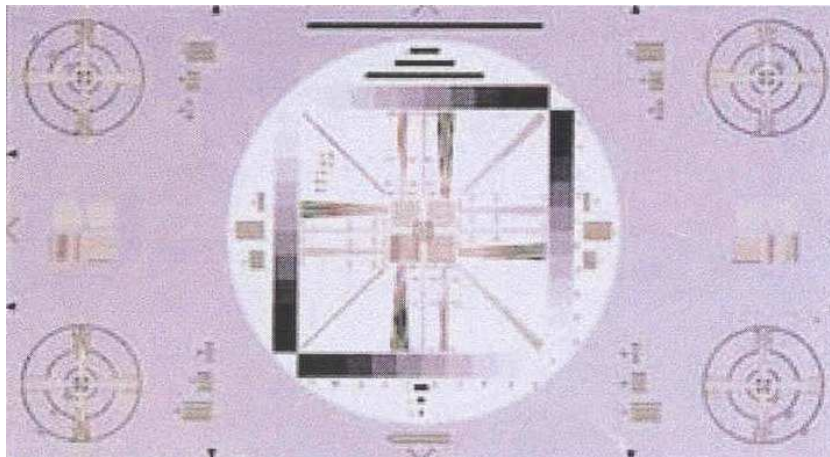
Focus 상태 시험차트가 제조회사별로 시험방법 및 종류가 다양하므로 본 연구에서는 예시한 부속 그림 1 또는 KS C IEC 61146-1(비디오 카메라(PAL / SECAM / NTSC)-측정방법-제1부 : 비 방송용 단일-센서카메라)의 검사방법 및 검사도표를 사용할 수 있다.



Att. Fig. 1 ITE High registration

## 2. 해상도 테스트 차트

해상도 측정을 위한 테스트 차트가 제조회사별로 측정하는 방법 및 종류가 다양하므로 본 연구에서는 예시한 부속 그림 2 또는 KS C IEC 61146-1(비디오카메라(PAL / SECAM / NTSC)-측정방법-제1부 : 비 방송용 단일-센서카메라)의 검사방법 및 검사도표를 사용할 수 있다.



Att. Fig. 2 ITE High resolution chart

### 3. VCM 구동특성분석 프로그램

#### Phone CAM Actuator Tester Program

```
Dim t_b As Long
Dim picf, p2_bef, p2_dly, rst_cnt As Integer
Sub test_end1()
Dim ad, bd, R, vm As Double
Dim a, b, c, d, a1, a2, a3, a4, b1, b2, b3, b4, i,
k As Integer
Dim ac As String

    c = List3.ListCount
    g1.Row = 1
    g1.Col = 1
    vm = Val(g1.Text)

    g1.Col = 2
    a = disp_a
    a = Val(List1.List(c - 1))
    disp_a = CInt(a / 10)
    dec_14
    g1.Text = disp_ac

    g1.Col = 3
    a1 = Val(List2.List(c - 1))
    g1.Text = Str(a1)

    g1.Col = 4
    a = disp_a
    a = Val(List3.List(0))
    disp_a = CInt(a / 10)
    dec_14
    g1.Text = disp_ac
    g1.Col = 5
    b1 = Val(List4.List(0))
    g1.Text = Str(b1)
    g1.Col = 6
    g1.Text = Str(Abs(a1 - b1))

    g1.Col = 10
    disp_a = CInt(vm / a * 1000000)
    dec_1
    g1.Text = disp_ac
    R = Val(disp_ac)

    g1.Col = 9
    disp_a = CInt(vm * a / 100)
    g1.Text = Str(disp_a)
```

```
For i = 2 To 5
    g1.Row = i
    g1.Col = 1
    bd = Val(g1.Text)
    If bd <> 0 Then
        b = CInt(c / vm * bd)

        g1.Col = 2
        disp_a = CInt(Val(List1.List(b)) / 10)
        dec_14
        g1.Text = disp_ac

        g1.Col = 9
        disp_a = CInt(bd * disp_a / 10)
        g1.Text = Str(disp_a)

        g1.Col = 3
        a1 = Val(List2.List(b))
        g1.Text = Str(a1)

        g1.Col = 4
        disp_a = CInt(Val(List3.List(c - b)) / 10)
        dec_14
        g1.Text = disp_ac

        g1.Col = 5
        a2 = Val(List4.List(c - b))
        g1.Text = Str(a2)

        g1.Col = 6
        g1.Text = Str(Abs(a2 - a1))

        g1.Row = i - 1
        g1.Col = 2
        a1 = Val(g1.Text) * 10
        g1.Col = 3
        a2 = Val(g1.Text)
        g1.Col = 4
        a3 = Val(g1.Text) * 10
        g1.Col = 5
        a3 = Val(g1.Text)

        g1.Row = i
        g1.Col = 2
        b1 = Val(g1.Text) * 10
        g1.Col = 3
        b2 = Val(g1.Text)
        g1.Col = 4
```

```

        b3 = Val(g1.Text) * 10
        g1.Col = 5
        b4 = Val(g1.Text)
        g1.Col = 7
disp_a = CInt((a2 - b2) / (a1 - b1) * 1000)
        dec_24
        g1.Text = disp_ac
        g1.Col = 8
disp_a = CInt((a4 - b4) / (a3 - b3) * 1000)
        dec_24
        g1.Text = disp_ac
    End If
Next i
b = Val(List2.List(c - 1))
a2 = CInt(b * 0.95)
a1 = CInt(b * 0.5)
    d = 0
For i = b1 To b2
    a3 = Val(List2.List(i))
    b3 = Val(List4.List(c - i))
    b = Abs(a3 - b3)
    If b > d Then
        d = b
        k = i
    End If
Next i

g1.Row = 6
g1.Col = 6
g1.Text = Str(d)

g1.Col = 5
g1.Text = List4.List(c - k)

g1.Col = 4
a = Val(List3.List(c - k))
disp_a = CInt(a / 10)
dec_14
g1.Text = disp_ac

g1.Col = 3
g1.Text = List2.List(k)
g1.Col = 2
a = Val(List1.List(k))
disp_a = CInt(a / 10)
dec_14
g1.Text = disp_ac

g1.Col = 1
disp_a = CInt(k / c * vm * 100)
dec_24
g1.Text = disp_ac

```

```

        ac = Format(Now, "yyyy.mm.dd")
        date1.Text = ac
End Sub

Sub test_end20
Dim ad, bd As Double
Dim al, bl As Long
Dim a(20), b(20), c(10), pa(20), pb(20), i, k
As Integer
Dim ac As String

        c(10) = CInt(r_str / 100 * s_per)

        al = 0
            a(19) = Int(al / 80)
        bl = 0
        For i = 397 To 476
            bl = bl + Val(List2.List(i))
        Next i
        b(19) = Int(bl / 80)
        a(17) = a(19)
        b(17) = b(19)

        c(1) = List2.ListCount - 1
        c(2) = 105
        k = 0
        Do
            If k > 15 Then Exit Do
            a(20) = 0
            For i = c(2) To c(1)
                a(18) = Val(List2.List(i))
                c(2) = i
            k = k + 1
            a(20) = 30000
            For i = c(2) To c(1)
                a(18) = Val(List2.List(i))
                If a(20) > a(18) Then
                    a(20) = a(18)
                    pa(k) = i
                End If
            Next i
            c(2) = i
            k = k + 1
        Loop

        g1.Col = 1
        For i = 0 To 4
            g1.Row = i + 1
            c(3) = CInt(pa(i) / 486 * 100) - 20
            g1.Text = Str(a(i)) + "/" + Str(c(3))
        Next i
        g1.Col = 3
        For i = 0 To 4

```

```

g1.Row = i + 1
c(3) = CInt(pa(i + 5) / 486 * 100) - 20
g1.Text = Str(a(i + 5)) + "/" + Str(c(3))
Next i
g1.Col = 5
For i = 0 To 4
g1.Row = i + 1
c(3) = CInt(pa(i + 10) / 486 * 100) - 20
g1.Text = Str(a(i + 10)) + "/" + Str(c(3))
Next i
g1.Col = 7
g1.Row = 1
g1.Text = Str(a(19)) + " m"
g1.Row = 2
g1.Text = Str(b(19)) + " m"

For i = 1 To 14
If c(10) > Abs(a(i)) Then
c(3) = CInt(pa(i) / 486 * 100) - 20
g1.Row = 5
g1.Text = Str(c(3)) + " mS"
Exit For
End If
Next i

ac = Format(Now, "yyyy.mm.dd")
date1.Text = ac
End Sub
Sub disp_time()
Dim ac, bc As String
Dim dl, dh As Integer
dh = Int(dispan / 60)
dl = disp_a Mod 60
disp_ac = Right(ac, Len(ac) - 1)
End Sub

Sub save_setup()
Dim fn1 As String

On Error GoTo err1

Dir1.Path = Dir2.Path
fn1 = Dir1.Path + "Wsetup.sys"
Open fn1 For Output As #1
Print #1, zero
Print #1, spanc
Print #1, spanv
Print #1, zeror
Print #1, spanr
Print #1, com1.CommPort
Close #1
Exit Sub
err1:

```

```

Mkdir Dir1.Path
Resume Next
End Sub

Sub draw_frame1()
Dim i, a, b, c As Integer
Dim aa, bb As Double

pic1.Cls
pic1.DrawStyle = 0
pic1.ForeColor = &HFFC0C0

For i = 1 To 7
pic1.Line (0, 100 * i)-(1600, 100 * i)
Next i

If Frame1.Tag = 0 Then
tt(0).Caption = "Static Response"
yt(1).Visible = 0
picy2.Visible = 0
yt(0).Caption = " m Stroke"

For i = 1 To 19
pic1.Line (80 * i, 0)-(80 * i, 800)
Next i
pic1.ForeColor = 0
X = 800
pic1.Line (X, 0)-(X, 800)
Else
tt(0).Caption = "Transition Response"
yt(1).Visible = 1
picy2.Visible = 1
yt(0).Caption = " m Stroke"

For i = 1 To 19
pic1.Line (80 * i, 0)-(80 * i, 800)
Next i
End If
draw_picx
draw_picy1
draw_picy2
End Sub

Sub draw_picx()
Dim i, a, b As Integer
Dim ad As Double

picx.Cls
picx.CurrentY = 0
ad = Val(xspan.Text) / 10
If Frame1.Tag = 0 Then
picx.CurrentX = 0

```

```

picx.ForeColor = &HFF&
picx.Print "0";
For i = 1 To 9
    picx.CurrentX = 80 * i - 25
    a = Int(ad * i)
    picx.Print Str(a);
Next i
picx.CurrentX = 800
picx.ForeColor = &HFF0000
picx.Print "0";
For i = 11 To 19
    picx.CurrentX = 80 * i - 25
    a = Int(ad * (i - 10))
    picx.Print Str(a);
Next i
picx.Print "    mA"
Else
    picx.ForeColor = 0
    picx.CurrentX = 0
    picx.Print "-20";
    picx.CurrentX = 300
    picx.Print "0";
    picx.CurrentX = 620
    picx.Print "20";
    picx.CurrentX = 940
    picx.Print "40";
    picx.CurrentX = 1260
    picx.Print "60";
    picx.CurrentX = 1550
    picx.Print "80 mS";
End If
End Sub
Sub draw_picy1()
Dim i, a, b As Integer
Dim ad As Double

picy1.Cls
If Frame1.Tag = 0 Then
    picy1.ForeColor = 0
Else
    picy1.ForeColor = &HFF&
End If
b = 800
For i = 1 To 8
    picy1.CurrentX = 0
    picy1.CurrentY = 800 - 100 * i
    disp_a = b / 8 * i
    dec_04
    picy1.Print disp_ac
Next i
picy1.CurrentX = 240
picy1.CurrentY = 770
picy1.Print "0"

```

```

End Sub
Sub draw_picy2()
Dim i, a, b As Integer
Dim ad As Double

picy2.Cls
picy2.ForeColor = &HFF0000
b = 100
For i = 1 To 8
    picy2.CurrentX = 0
    picy2.CurrentY = 800 - 100 * i
    disp_a = b / 8 * i
    picy2.Print Str(disp_a)
Next i
picy2.CurrentX = 130
picy2.CurrentY = 770
picy2.Print "0"
End Sub

Sub draw_pic1()
Dim X, Y As Integer
Dim al, bl, cl, dl, kl As Long
Dim a As Integer

If Frame1.Tag = 0 Then
    a = Val(xspan.Text) * 100
    If pic1.Tag = 0 Then
        al = List1.ListCount - 1
        pic1.ForeColor = &HFF&
        For kl = listn To al
            cl = Val(List1.List(kl))
            dl = Val(List2.List(kl))
            X = Int(cl / a * 800)
            Y = 800 - Int(dl)
            pic1.Line -(X, Y)
        Next kl
        listn = kl
    Else
        al = List3.ListCount - 1
        pic1.ForeColor = &HFF0000
        For kl = listn To al
            cl = Val(List3.List(kl))
            dl = Val(List4.List(kl))
            X = Int(cl / a * 800) +
800
            Y = 800 - Int(dl)
            pic1.Line -(X, Y)
        Next kl
        listn = kl
    End If
Else
    pic1.ForeColor = &HFF0000
    al = Val(List1.List(0))

```

```

Y = 800 - CInt(al / 100 * 8)
pic1.Line (0, Y)-(0, Y)
For i = 1 To 485
    X = CInt(i / 486 * 1600)
    al = Val(List1.List(i))
    Y = 800 - CInt(al / 100 * 8)
    pic1.Line -(X, Y)
Next i

'al = Val(List3.List(0))
'Y = 800 - CInt(al / 100 * 8)
'pic1.Line (800, Y)-(800, Y)
'For i = 1 To 499
'    X = CInt(i / 486 * 800) + 800
'    al = Val(List3.List(i))
'    Y = 800 - CInt(al / 100 * 8)
'    pic1.Line -(X, Y)
'Next i

pic1.ForeColor = &HFF&
al = Val(List2.List(0))
Y = 800 - CInt(al)
pic1.Line (0, Y)-(0, Y)
For i = 1 To 485
    X = CInt(i / 486 * 1600)
    al = Val(List2.List(i))
    Y = 800 - CInt(al)
    pic1.Line -(X, Y)
Next i

'al = Val(List4.List(0))
'Y = 800 - CInt(al)
'pic1.Line (800, Y)-(800, Y)
'For i = 1 To 499
'    X = CInt(i / 486 * 800) + 800
'    al = Val(List4.List(i))
'    Y = 800 - CInt(al)
'    pic1.Line -(X, Y)
'Next i
End If
End Sub
Sub pic1_init()
Dim X, Y As Integer
Dim al, bl, cl, dl, kl As Long
Dim a As Integer

If Frame1.Tag = 0 Then
    a = Val(xspan.Text) * 100
    pic1.ForeColor = &HFF0000
    cl = Val(List1.List(listn - 1))
    dl = Val(List2.List(listn - 1))
    X = Int(cl / a * 800) + 800
    Y = 800 - Int(dl)

    pic1.Line (X, Y)-(X, Y)
    pic1.Tag = 1
End If
End Sub
Sub g1_frame0()
Dim i As Integer
With g1
    .Clear
    .Rows = 7
    .Cols = 11
    .Height = 2000
    .Width = 12000
    .ColWidth(0) = 800
    .ColWidth(1) = 1000
    .ColWidth(2) = 1100
    .ColWidth(3) = 1100
    .ColWidth(4) = 1100
    .ColWidth(5) = 1100
    .ColWidth(6) = 1100
    .ColWidth(7) = 1200
    .ColWidth(8) = 1200
    .ColWidth(9) = 1100
    .ColWidth(10) = 1100
    For i = 0 To 10
        .ColAlignment(i) = 5
    Next i
    .Row = 0
    .Col = 0
    .Text = "No."
    .Col = 1
    .Text = "Volt.(V)"
    .Col = 2
    .Text = "Curr.(mA)"
    .Col = 3
    .Text = "m (U)"
    .Col = 4
    .Text = "Curr.(mA)"
    .Col = 5
    .Text = "m (D)"
    .Col = 6
    .Text = "Hysteresis"
    .Col = 7
    .Text = "m/mA(U)"
    .Col = 8
    .Text = "m/mA(D)"
    .Col = 9
    .Text = "Pwr(mW)"
    .Col = 10
    .Text = "Ohm"
    .Col = 0
    .Row = 1
    .Text = "Rating"

```



```

        .Row = 2
        .Text = "1"
        .Row = 3
        .Text = "2"
        .Row = 4
        .Text = "3"
        .Row = 5
        .Text = "4"
        .Row = 6
        .Text = "Max"
        .Row = 0
        For i = 1 To 10
            .Col = i
            .CellBackColor = &H80C0FF
        Next i
        .Row = 6
        For i = 1 To 6
            .Col = i
            .CellBackColor = &H8080FF
        Next i
    End With
End Sub
Sub gl_frame1()
    Dim i As Integer
    Dim ac As String

    With gl
        .Clear
        .Rows = 6
        .Cols = 8
        .Height = 1700
        .Width = 10965

        .ColWidth(0) = 800
        .ColWidth(2) = 800
        .ColWidth(4) = 800

        .ColWidth(1) = 1600
        .ColWidth(3) = 1600
        .ColWidth(5) = 1600
        .ColWidth(6) = 2000
        .ColWidth(7) = 1500
        For i = 0 To 7
            .ColAlignment(i) = 5
        Next i
        .ColAlignment(0) = 1
        .ColAlignment(2) = 1
        .ColAlignment(4) = 1
        .ColAlignment(6) = 1

        .Col = 0
        For i = 1 To 5
            .Row = i

```

```

            .Text = " P" + Str(i)
        Next i
        .Col = 2
        For i = 1 To 5
            .Row = i
            .CellBackColor = &H80C0FF
            .Text = " P" + Str(i + 5)
        Next i
        .Col = 4
        For i = 1 To 5
            .Row = i
            .CellBackColor = &H80C0FF
            .Text = " P" + Str(i + 10)
        Next i
        .Col = 6
        For i = 1 To 5
            .Row = i
            .CellBackColor = &H80C0FF
        Next i
        .Row = 1
        .Text = " Initial Stroke"
        .Row = 2
        .Text = " Stability Stroke"
        .Row = 3
        .Text = " Rating Stroke."
        .Row = 4
        .Text = " Stability %"
        .Row = 5
        .Text = " Stability Time"

        .Row = 0
        .Col = 6
        .Text = " Waiting Time"
        ac = " No."
        .Col = 0
        .Text = ac
        .Col = 2
        .Text = ac
        .Col = 4
        .Text = ac
        ac = "Up"
        .Col = 1
        .Text = ac
        .Col = 3
        .Text = ac
        .Col = 5
        .Text = ac
        .Col = 7
        .Row = 3
        .CellBackColor = &H80FF80
        .Text = Str(r_str) + " m"
        .Row = 4

```

```

.CellBackColor = &H80FF80
.Text = Str(s_per) + " %"
.Row = 0
.CellBackColor = &H80FF80
.Text = Str(dly_t) + " Sec"

.Row = 0
For i = 1 To 6
    .Col = i
    .CellBackColor = &H80C0FF
Next i
End With
End Sub

Sub dec_24()
Dim a, b, c As Integer
Dim ac, bc As String
Dim aa As Long

On Error GoTo err1

aa = Abs(displ_a)
a = Int(aa / 100)
b = aa Mod 100
bc = Str(b)
ac = Str(a)
If b < 10 Then
    bc = ".0" + Right(bc, 1)
Else
    bc = "." + Right(bc, 2)
End If
c = Len(ac)
Select Case c
    Case 2:
        ac = " " + Right(ac, 1)
    Case 3:
        ac = " " + Right(ac, 2)
    Case 4:
        ac = " " + Right(ac, 3)
    Case 5:
        ac = Right(ac, 4)
End Select
If displ_a < 0 Then
    displ_ac = "-" + ac + bc
Else
    displ_ac = ac + bc
End If
Exit Sub
err1:
Resume Next
End Sub
Sub dec_2()
Dim a, b, c As Integer

```

```

Dim ac, bc As String
Dim aa As Long

aa = Abs(displ_a)
a = Int(aa / 100)
b = aa Mod 100
bc = Str(b)
ac = Str(a)
ac = Right(ac, Len(ac) - 1)
If b < 10 Then
    bc = ".0" + Right(bc, 1)
Else
    bc = "." + Right(bc, 2)
End If
If displ_a < 0 Then
    displ_ac = "-" + ac + bc
Else
    displ_ac = ac + bc
End If
End Sub

Sub dec_04()
Dim a, b, c As Integer
Dim ac, bc As String
Dim aa As Long

aa = Abs(displ_a)
ac = Str(aa)
c = Len(ac)
Select Case c
    Case 2:
        ac = " " + Right(ac, 1)
    Case 3:
        ac = " " + Right(ac, 2)
    Case 4:
        ac = " " + Right(ac, 3)
    Case 5:
        ac = Right(ac, 4)
End Select
If displ_a < 0 Then
    displ_ac = "-" + ac
Else
    displ_ac = ac
End If
End Sub
Sub dec_1()
Dim a, b, c As Integer
Dim ac, bc As String
Dim aa As Long

aa = Abs(displ_a)
a = Int(aa / 10)
b = aa Mod 10

```

```

bc = Str(b)
ac = Str(a)
bc = "." + Right(bc, 1)
If disp_a < 0 Then
    disp_ac = "-" + ac + bc
Else
    disp_ac = ac + bc
End If
End Sub

```

```

Sub dec_14()
Dim a, b, c As Integer
Dim ac, bc As String
Dim aa As Long

```

```

aa = Abs(disp_a)
a = Int(aa / 10)
b = aa Mod 10
bc = Str(b)
ac = Str(a)
bc = "." + Right(bc, 1)
c = Len(ac)
Select Case c
    Case 2:
        ac = " " + Right(ac, 1)
    Case 3:
        ac = " " + Right(ac, 2)
    Case 4:
        ac = " " + Right(ac, 3)
    Case 5:
        ac = Right(ac, 4)
End Select
If disp_a < 0 Then
    disp_ac = "-" + ac + bc
Else
    disp_ac = ac + bc
End If
End Sub

```

```

Sub dec_23()
Dim a, b, c As Integer
Dim ac, bc As String

```

```

a = Int(disp_a / 100)
b = disp_a Mod 100
bc = Str(b)
ac = Str(a)
If b < 10 Then
    bc = ".0" + Right(bc, 1)
Else
    bc = "." + Right(bc, 2)
End If
c = Len(ac)

```

```

Select Case c
    Case 2:
        ac = " " + Right(ac, 1)
    Case 3:
        ac = " " + Right(ac, 2)
    Case 4:
        ac = Right(ac, 3)
End Select
disp_ac = ac + bc
End Sub

```

```

Private Sub cmdesc_Click()
Label13.Visible = 0
Text3.Visible = 0
cmdprn.Visible = 0
cmdesc.Visible = 0
tmr1.Enabled = 1
msg1.Visible = 0
End Sub

```

```

Private Sub cmdmode_Click()
With cmdmode
g1.Row = 0
If .Tag = 1 Then
    .Tag = 0
    .Caption = "Up"
    g1.Col = 1
    g1.Text = "Up"
    g1.Col = 3
    g1.Text = "Up"
    g1.Col = 5
    g1.Text = "Up"
Else
    .Tag = 1
    .Caption = "Down"
    g1.Col = 1
    g1.Text = "Down"
    g1.Col = 3
    g1.Text = "Down"
    g1.Col = 5
    g1.Text = "Down"
End If
End With
End Sub

```

```

Private Sub cmdpic1_Click()
Dim i, k As Integer

draw_frame1

If Frame1.Tag = 0 Then
    For i = 1 To 6

```

```

        g1.Row = i
        For k = 2 To 9
            g1.Col = k
            g1.Text = ""
        Next k
    Next i
Else
    For i = 1 To 5
        g1.Row = i
        g1.Col = 1
        g1.Text = ""
        g1.Col = 3
        g1.Text = ""
        g1.Col = 5
        g1.Text = ""
    Next i
    g1.Col = 7
    g1.Row = 1
    g1.Text = ""
    g1.Row = 2
    g1.Text = ""
    g1.Row = 5
    g1.Text = ""

    End If
End Sub

Private Sub cmdprn_Click()
    Dim i As Integer
    Dim col1, col2 As Long
    Dim ap As Picture

    cmdprn.Visible = 0
    cmdesc.Visible = 0
    For i = 0 To 3
        ffc(i).Visible = 0
    Next i
    cmdzr.Visible = 0
    cmdsrst.Visible = 0
    cmdstp.Visible = 0
    cmdpic1.Visible = 0
    col1 = Form1.BackColor
    Form1.BackColor = QBColor(15)
    col2 = g1.BackColorBkg
    g1.BackColorBkg = QBColor(15)
    Set ap = pic1.Image
    pic1.Picture = ap

    Form1.PrintForm

    pic1.Picture = LoadPicture
    pic1.PaintPicture ap, 0, 0

```

```

    For i = 0 To 3
        ffc(i).Visible = 1
    Next i
    cmdzr.Visible = 1
    cmdsrst.Visible = 1
    cmdstp.Visible = 1
    cmdpic1.Visible = 1
    Form1.BackColor = col1
    g1.BackColorBkg = col2

    Label13.Visible = 0
    Text3.Visible = 0
    tmr1.Enabled = 1
End Sub

Private Sub cmdsrst_Click()
    Dim i, a, b, acc_time As Integer
    Dim ad, bd As Double
    Dim al, bl As Long
    Dim ac As String

    ac = Dir2.Path + "Wname1.dat"

    If style = 0 Then
        If Opn.Text = "" Then
            MsgBox ("Empty Operator Name")
            Exit Sub
        End If
        If Frame1.Tag = 0 Then
            g1.Col = 1
            g1.Row = 1
            ad = Val(g1.Text)
            If ad = 0 Then
                MsgBox ("Please write Max.Voltage")
                Exit Sub
            End If

            Open ac For Output As #1
            g1.Col = 1
            For i = 1 To 5
                g1.Row = i
                Print #1, g1.Text
            Next i
            Close #1

            acc_time = Val(Text2.Text)

            al = Int(ad / 2000 * spanv)
            'Max. Volt
            a = Int(acc_time / 8 * 1000)
            bl = Int(al / a * 256)
            'Volt. Step
            v_step = bl

```

```

        load_wr3
        wr3(3) = bl Mod 256
        wr3(4) = Int(bl / 256)
        wr3(5) = al Mod 256
        wr3(6) = Int(al / 256)
        chk_sum3
        op_sqc = 1
        pic1.Tag = 0

        t_org = Int(Timer)
        cmdsrst.Tag = 1
        cmdzr.Enabled = 0
        g1.Enabled = 0
        cmdsrst.Enabled = 0
        picx.Tag = 0
    Else
        ad = Val(Text2.Text)
        If ad = 0 Then
            MsgBox ("Please write
Max.Voltage")
            Exit Sub
        End If

        al = Int(ad / 2000 * spanv)
'Max. Volt
        a = Int(dly_t / 8 * 1000)
        bl = Int(al / a * 256)
'Volt. Step

        load_wr3
        wr3(3) = bl Mod 256
        wr3(4) = Int(bl / 256)
        wr3(5) = al Mod 256
        wr3(6) = Int(al / 256)
        chk_sum3

        op_sqc = 1
        pic1.Tag = 0

        t_org = Int(Timer)
        cmdsrst.Tag = 1
        cmdzr.Enabled = 0
        g1.Enabled = 0
        cmdsrst.Enabled = 0
        picx.Tag = 0
    End If
End If
End Sub

Private Sub cmdstp_Click()
    If style = 0 Then
        cmdsrst.Tag = 0

```

```

        cmdzr.Enabled = 1
        g1.Enabled = 1
        ctl_stop
    End If
End Sub
Sub load_wr3()
    wr3(0) = Asc("w")
    wr3(1) = &H62
    wr3(2) = 4
    style = 3
End Sub
Sub chk_sum3()
Dim i, a As Integer
    a = 0
    For i = 0 To 6
        a = a + wr3(i)
    Next i
    wr3(7) = a Mod 256
    seri_ans = wr3(7)
    com1.Output = wr3
End Sub

Sub chk_sum1()
Dim i, a As Integer
    a = 0
    For i = 0 To 3
        a = a + wr1(i)
    Next i
    wr1(4) = a Mod 256
    seri_ans = wr1(4)
    com1.Output = wr1
End Sub
Sub load_wr1()
    wr1(0) = Asc("w")
    wr1(1) = &H66
    wr1(2) = 1
    style = 1
End Sub
Sub test_on()
    load_wr1
    wr1(3) = 101
    chk_sum1
    com1.Output = wr1
End Sub
Sub test_off()
    load_wr1
    wr1(3) = 102
    chk_sum1
    com1.Output = wr1
End Sub
Sub ctl_stop()
    load_wr1
    wr1(3) = 9

```

```

        chk_sum1
        com1.Output = wr1
    End Sub
    Sub raser_reset()
        If style = 0 Then
            cmdsr.Enabled = 0
            load_wr1
            wr1(3) = 3
            chk_sum1
            cmdzr.Tag = 1
            rst_cnt = 3
        End If
    End Sub

    Private Sub cmdzr_Click()
        raser_reset
    End Sub

    Private Sub exit1_Click()
        End
    End Sub

    Private Sub Form_Load()
        Dim a, b, c, i As Integer
        Dim fn1, ac As String

        On Error GoTo err1

        'Dir2.Path = "c:\WLens01"
        ac = Dir2.Path
        ac = ac + "\Wsetup.sys"
        Open ac For Input As #1
        Input #1, zero
        Input #1, spanc
        Input #1, spanv
        Input #1, zeror
        Input #1, spanr
        Input #1, a
        Close #1
        For i = 0 To 3
            p_set1(i).Checked = 0
        Next i
        p_set1(a - 1).Checked = 1
        com1.CommPort = a

        r_str = 500
        s_per = 2
        dly_t = 5

        draw_frame1
        g1_frame0

```

```

        tmr1.Enabled = 1

        style = 0
        com1.PortOpen = 1
        t_org = Int(Timer)
        Exit Sub
    err1:
        Resume Next
    End Sub

    Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
        End
    End Sub

    Private Sub g1_Click()
        If Frame1.Tag = 0 Then
            If (g1.Col = 1) And (g1.Row <> 0)
            Then
                g1.Enabled = 0
                Text1.Top = g1.Top + g1.CellTop
                Text1.Left = g1.Left + g1.CellLeft
                Text1.Width = g1.CellWidth
                Text1.Text = g1.Text
                Text1.SelStart = 0
                Text1.Visible = 1
                Text1.SelLength =
                Len(Text1.Text)
                Text1.SetFocus
            End If
            Else
                If (g1.Col = 7) And ((g1.Row = 0)
                Or (g1.Row = 3) Or (g1.Row = 4)) Then
                    g1.Enabled = 0
                    Text1.Top = g1.Top + g1.CellTop
                    Text1.Left = g1.Left + g1.CellLeft
                    Text1.Width = g1.CellWidth
                    Text1.Text = Val(g1.Text)
                    Text1.SelStart = 0
                    Text1.Visible = 1
                    Text1.SelLength =
                    Len(Text1.Text)
                    Text1.SetFocus
                End If
            End If
        End Sub

    Private Sub lpc1_Click()
        Form1.Enabled = 0
        Form2.Show
        With Form2
            .Dir1.Path = Dir2.Path
            ac = .Dir1.Path + "\Wdata"
            .Dir1.Path = ac
            .File1.Path = .Dir1.Path

```

```

        .File1.Refresh
        .File1.Tag = 1
    End With
End Sub

Private Sub mode1_Click()
    Dim i As Integer
    Dim ac, bc As String

    Frame1.Tag = 0
    g1_frame0
    For i = 3 To 6
        tt(i).Visible = 1
    Next i
    valc.Visible = 1
    vald1.Visible = 1
    vald2.Visible = 1
    xspan.Visible = 1
    Label10.Caption = "Meas.Time"
    Text2.Text = 10
    Label11.Visible = 0
    draw_frame1
    tt(1).Visible = 1
    tt(2).Visible = 1
    cmdmode.Visible = 0

    ac = Dir2.Path + "Wname1.dat"
    g1.Col = 1
    Open ac For Input As #1
    For i = 1 To 5
        g1.Row = i
        Line Input #1, bc
        g1.Text = bc
    Next i
    Close #1
End Sub

Private Sub mode2_Click()
    Dim i As Integer

    Frame1.Tag = 1
    g1_frame1
    For i = 1 To 6
        tt(i).Visible = 0
    Next i
    valc.Visible = 0
    vald1.Visible = 0
    vald2.Visible = 0
    xspan.Visible = 0
    Label10.Caption = "Max. Volt"
    Text2.Text = 2.75
    Label11.Visible = 1

```

```

    cmdmode.Visible = 1

    draw_frame1
End Sub

Private Sub p_set1_Click(Index As Integer)
    Dim i As Integer
    On Error GoTo err1

    com1.PortOpen = 0
    For i = 0 To 3
        p_set1(i).Checked = 0
    Next i
    p_set1(Index).Checked = 1
    com1.CommPort = Index + 1
    com1.PortOpen = 1
    save_setup
    Exit Sub
err1:
    Resume Next
End Sub

Private Sub pic1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    Dim a, b, n, i As Integer

    If (picx.Tag = 1) And (X < 800) Then
        a = CInt(X / 8 * Val(xspan.Text))
        For i = 0 To List1.ListCount - 1
            If Val(List1.List(i)) > a Then
                n = i
            Exit For
        End If
    Next i
    disp_a = CInt(Val(List1.List(n)) /
10)

    dec_14
    valc.Text = disp_ac
    vald1.Text = List2.List(n)
    For i = 0 To List3.ListCount - 1
        If Val(List3.List(i)) < a Then
            n = i
        Exit For
    End If
    Next i
    vald2.Text = List4.List(n)
End If
End Sub

```

```

Private Sub report1_Click()
    Label13.Visible = 1
    Text3.Text = ""
    Text3.Visible = 1
    cmdprn.Visible = 1
    cmdesc.Visible = 1
    Text3.SetFocus
    tmr1.Enabled = 0
    msg1.Visible = 0
End Sub

Private Sub set1_Click()
    If style <> 0 Then Exit Sub
    test_on
    Form1.Enabled = 0
    Form4.Show
    Form4.Tag = 1
End Sub

Private Sub spc1_Click()
    Dim ac As String

    On Error GoTo err1
    Form1.Enabled = 0
    Form2.Show
    With Form2
        .Dir1.Path = Dir2.Path
        ac = .Dir1.Path + "Wdata"
        .Dir1.Path = ac
        .File1.Path = .Dir1.Path
        .File1.Refresh
        If .File1.ListCount = 0 Then
            .Text1.Text = ""
        Else
            .Text1.Text = .File1.List(0)
        End If
        .Text1.SelStart = 0
        .Text1.SelLength =
    Len(.Text1.Text)
        .Text1.SetFocus
        .File1.Tag = 0
    End With
    Exit Sub
err1:
    Mkdir ac
    Form2.Dir1.Path = ac
    Resume Next
End Sub

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```

```

    Dim ad As Double
    If KeyAscii = 13 Then
        If Frame1.Tag = 0 Then
            If g1.Row = 1 Then
                disp_a = CInt(Val(Text1.Text) * 100)
                dec_2
                g1.Text = disp_ac
            Else
                g1.Row = g1.Row - 1
                ad = Val(g1.Text)
                g1.Row = g1.Row + 1
                If Val(Text1.Text) < ad
            Then
                disp_a = CInt(Val(Text1.Text) * 100)
                dec_2
                g1.Text = disp_ac
            End If
        End If
    Else
        g1.Text = Text1.Text
        Select Case g1.Row
            Case 0:
                dly_t = Val(Text1.Text)
                g1.Text = Str(dly_t) + " Sec"
            Case 3:
                r_str = Val(Text1.Text)
                g1.Text = Str(r_str) + " m"
            Case 4:
                s_per = Val(Text1.Text)
                g1.Text = Str(s_per) + " %"
        End Select
    End If
    Text1.Visible = 0
    g1.Enabled = 1
End Sub

Private Sub tmr1_Timer()
    Dim cc() As Byte
    Dim cc1() As Byte
    Dim a, b, c, i, k, X, Y, aal, bbl, ans, wgt As Integer
    Dim al, bl, cl As Long
    Dim ad, bd As Double
    Dim t_now As Long
    Dim fn1, ac, bc, pgc As String

    On Error GoTo err1

    ac = Format(Now, "yyyy-mm-dd ")
    bc = Format(Now, "hh : mm : ss")
    Form1.Caption = Space(30) + "Moving
Tester" + Space(80) + ac + bc

```



```

k = com1.InBufferCount
t_now = Int(Timer)

If k = 304 Then
    cc = com1.Input
    For i = 0 To 63
        a = cc(4 * i + 1)
        adat(i) = a * 256 + cc(4 * i)
        a = cc(4 * i + 3)
        rdat(i) = a * 256 + cc(4 * i + 2)
    Next i
    For i = 0 To 23
        a = cc(2 * i + 257)
        cdat(i) = a * 256 + cc(2 * i + 256)
    Next i

    t_b = Int(Timer)
    GoTo disp_01
Else
    If k > 304 Then
        cc1 = com1.Input
    End If
End If
If (t_now - t_b) > 3 Then
    msg1.Visible = 1
Else
    msg1.Visible = 0
End If
Exit Sub
disp_01:
a = Int(cdat(5) / 256)
Select Case style
    Case 1:
        If seri_ans = a Then
            style = 0
        Else
            com1.Output = wr1
        End If
    Case 2:
        If seri_ans = a Then
            style = 0
        Else
            com1.Output = wr2
        End If
    Case 3:
        If seri_ans = a Then
            style = 0
        Else
            com1.Output = wr3
        End If
End Select

```

```

al = 0
bl = 0
For i = 0 To 61
    al = al + adat(i)
    bl = bl + rdat(i)
Next i
disp_a = CInt((Int(bl/62)-zeror) * spanr)
dec_04
disp1.Caption = disp_ac

disp_a = CInt((Int(al/62)-zero)*spanc*10)
dec_1
disp3.Caption = disp_ac

cl = cdat(8)
disp_a = CInt(cl / spanv * 200000)
dec_2
disp2.Caption = disp_ac

If cmdsr.Tag = 1 Then
    disp_a = t_now - t_org
    disp_time
    disp4.Caption = disp_ac
End If

If style = 0 Then
    If cmdzr.Tag = 1 Then
        rst_cnt = rst_cnt - 1
        If rst_cnt < 0 Then
            cmdzr.Tag = 0
            cmdsr.Enabled = 1
            al = 0
            bl = 0
            For i = 0 To 61
                al = al + adat(i)
                bl = bl + rdat(i)
            Next i
            zeror = Int(bl / 62)
            zero = Int(al / 62)
        End If
    End If

    If Frame1.Tag = 0 Then
        GoSub static_run
    Else
        GoSub trans_run
    End If
End If

If Form4.Tag = 1 Then

```

```

With Form4
    al = 0
    bl = 0
    For i = 0 To 61
        al = al + adat(i)
        bl = bl + rdat(i)
    Next i
    a = Int(al / 62)
    b = Int(bl / 62)
    .curr(0).Text = a
    .ras(0).Text = b
    .curr(1) = zero
    .curr(2).Text = a - zero
    disp_a = Int((a - zero) * spanc * 10)
    dec_14
    .curr(4).Text = disp_ac

    .ras(1) = zeror
    .ras(2).Text = b - zeror
    disp_a = Int((b - zeror) * spanr)
    dec_04
    .ras(4).Text = disp_ac
End With
End If
Exit Sub
static_run:
Select Case op_sqc
    Case 1:
        List1.Clear
        List2.Clear
        List3.Clear
        List4.Clear
        listn = 0
        zeror = rdat(0)

        load_wr1
        wr1(3) = 1
        chk_sum1
        op_sqc = 2
        pic1.Line (0, 800)-(0, 800)
        picf = 0
    Case 2:
        a = cdat(6) And &HF0
        If (a And &H80) <> 0 Then
            picf = 1
        End If
    Case 3:
        load_wr1
        wr1(3) = 2
        chk_sum1
        op_sqc = 4
        pic1_init
        listn = 0
        picf = 0
    Case 4:
        a = cdat(6) And &HF0
        If (a And &H80) <> 0 Then
            picf = 1
        End If
    Case 5:
        test_end1
        MsgBox ("Finish Test ...")
        cmdstp_Click
        op_sqc = 0
        picx.Tag = 1
End Select
sta_01:
    For i = 0 To 61
        al = adat(i) - zero
        If al < 0 Then al = 0
        bl = Int(al * spanc * 100)
        List1.AddItem Str(bl)

        al = rdat(i) - zeror

```

```

        If al < 0 Then al = 0
        bl = Int(al * spanr)
        List2.AddItem Str(bl)
    Next i
    draw_pic1
Else
    If picf = 1 Then
        picf = 0
        GoTo sta_01
    End If
If (a And &H20) <> 0 Then op_sqc = 3
End If
Case 3:
    load_wr1
    wr1(3) = 2
    chk_sum1
    op_sqc = 4
    pic1_init
    listn = 0
    picf = 0
Case 4:
    a = cdat(6) And &HF0
    If (a And &H80) <> 0 Then
        picf = 1
    End If
sta_02:
    For i = 0 To 61
        al = adat(i) - zero
        If al < 0 Then al = 0
        bl = Int(al * spanc * 100)
        List3.AddItem Str(bl)

        al = rdat(i) - zeror
        If al < 0 Then al = 0
        bl = Int(al * spanr)
        List4.AddItem Str(bl)
    Next i
    draw_pic1
Else
    If picf = 1 Then
        picf = 0
        GoTo sta_02
    End If
    If (a And &H20) <> 0
Then op_sqc = 5
End If
Case 5:
    test_end1
    MsgBox ("Finish Test ...")
    cmdstp_Click
    op_sqc = 0
    picx.Tag = 1
End Select

```

```

Return
trans_run:
Select Case op_sqc
Case 1:
List1.Clear
List2.Clear
List3.Clear
List4.Clear
listn = 0
zeror = rdat(0)

load_wr1
style = 0
If cmdmode.Tag = 0 Then
wr1(3) = 10
Else
wr1(3) = 13
End If
chk_sum1
op_sqc = 2
Case 2:
a = cdat(6) And &H8000
If a <> 0 Then op_sqc = 3
Case 3:
a = cdat(6) And &H8000
If a = 0 Then
p2_dly = 1
op_sqc = 4
End If
Case 4:
If p2_dly < 0 Then
load_wr1
wr1(3) = 11
chk_sum1
op_sqc = 5
Else
p2_dly = p2_dly - 1
End If
Case 5:
a = List1.ListCount
If a > 500 Then
load_wr1
wr1(3) = 12
chk_sum1
op_sqc = 6
Else
For i = 0 To 61
al = adat(i) - zero
If al < 0 Then al = 0
a = CInt(al * spanc * 100 / 43 * 41.8)
List1.AddItem Str(a)
If cmdmode.Tag = 0 Then

```

```

al = rdat(i) - (zeror * Val(Text2.Text))
If al < 0
Then al = 0
b = CInt(al * spanr / 520 * 507)
Else
al = rdat(i) - (zeror * Val(Text2.Text))
If al < 0
Then al = 0
b = CInt(al *
spanr / 513 * 507)
End If
List2.AddItem Str(b)
Next i
End If
Case 6:
For i = 486 To
List1.ListCount - 1
List1.RemoveItem (486)
List2.RemoveItem (486)
Next i

draw_pic1
op_sqc = 7
Case 7:
test_end2
MsgBox ("Finish Test ...")
op_sqc = 0
cmdstp_Click
End Select
Return
err1:
Resume Next
End Sub

Private Sub valc_KeyPress(KeyAscii As
Integer)
If KeyAscii = 13 Then
a = Val(valc.Text) * 100
For i = 0 To List1.ListCount - 1
If Val(List1.List(i)) > a Then
n = i
Exit For
End If
Next i
disp_a = CInt(Val(List1.List(n)) / 10)
dec_14
valc.Text = disp_ac
vald1.Text = List2.List(n)
For i = 0 To List3.ListCount - 1
If Val(List3.List(i)) < a Then
n = i
Exit For
End If

```

```

        Next i
        vald2.Text = List4.List(n)
    End If
End Sub
Sub draw_pic1sm()
Dim a, b, c, d, i, X, Y As Integer

    draw_frame1

    a = Val(xspan.Text) * 100
    pic1.ForeColor = &HFF&
    pic1.Line (0, 800)-(0, 800)
    For i = 0 To List1.ListCount - 1
        b = Val(List1.List(i))
        c = Val(List2.List(i))

        X = Int(b / a * 800)
        Y = 800 - Int(c)
        pic1.Line -(X, Y)
    Next i
    pic1.ForeColor = &HFF0000
    pic1.Line (X + 800, Y)-(X + 800, Y)
    For i = 0 To List1.ListCount - 1
        b = Val(List3.List(i))
        c = Val(List4.List(i))
        X = Int(b / a * 800) + 800
        Y = 800 - Int(c)
        pic1.Line -(X, Y)
    Next i
End Sub
Private Sub xspan_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii = 13) And (picx.Tag = 1)
    Then draw_pic1sm
End Sub

Option Explicit
Private Sub cmdyes_Click()
Dim fn1, ac, bc As String
Dim i, j, a, b As Integer
Dim al, bl As Long

    With Form1

        If File1.Tag = 0 Then
            If .Frame1.Tag = 0 Then
                bc = Right(Text1.Text, 4)
                If LCase(bc) <> ".sta" Then
                    bc = Text1.Text +
".sta"
                Else
                    bc = Text1.Text

```

```

    End If
    ac = File1.Path + "W" + bc
    Open ac For Output As #1
    Print #1, .Opn.Text
    Print #1, .date1.Text
    Print #1, .xspan.Text

    For i = 1 To 6
        .g1.Row = i
        For j = 0 To 10
            .g1.Col = j
            Print #1, .g1.Text
        Next j
    Next i
    bl = .List1.ListCount
    Print #1, bl
    For al = 0 To bl - 1
        Print #1, .List1.List(al); ",";
        Print #1, .List2.List(al)
    Next al
    bl = .List3.ListCount
    For al = 0 To bl - 1
        Print #1, .List3.List(al); ",";
        Print #1, .List4.List(al)
    Next al
    Close #1
Else
    bc = Right(Text1.Text, 4)
    If LCase(bc) <> ".tra" Then
        bc = Text1.Text + ".tra"
        ac = File1.Path + "W" + bc
        Open ac For Output As #1
        Print #1, .Opn.Text
        Print #1, .date1.Text
        Print #1, .Text2.Text

        For i = 0 To 5
            .g1.Row = i
            For j = 0 To 7
                .g1.Col = j
                Print #1, .g1.Text
            Next j
        Next i
        bl = .List1.ListCount
        Print #1, bl
        For al = 0 To bl - 1
            Print #1, .List1.List(al); ",";
            Print #1, .List2.List(al)
        Next al
        bl = .List3.ListCount
        For al = 0 To bl - 1
            Print #1, .List3.List(al); ",";
            Print #1, .List4.List(al)

```

```

        Next al
        Close #1
    End If
Else
    fn1 = File1.List(File1.ListIndex)
    fn1 = File1.Path + "W" + fn1
    Open fn1 For Input As #1

    If .Frame1.Tag = 0 Then
        Input #1, ac
        .Opn.Text = ac
        Line Input #1, ac
        .date1.Text = ac
        Input #1, ac
        .xspan.Text = ac
        .g1_frame0

        For i = 1 To 6
            .g1.Row = i
            For j = 0 To 10
                .g1.Col = j
                Line Input #1, ac
                .g1.Text = ac
            Next j
        Next i

        Input #1, al
        .List1.Clear
        .List2.Clear
        .List3.Clear
        .List4.Clear
        For i = 1 To al
            Input #1, a, b
            .List1.AddItem Str(a)
            .List2.AddItem Str(b)
        Next i
        For i = al + 1 To 2 * al
            Input #1, a, b
            .List3.AddItem Str(a)
            .List4.AddItem Str(b)
        Next i
        Close #1
        .draw_pic1sm
    Else
        Input #1, ac
        .Opn.Text = ac
        Line Input #1, ac
        .date1.Text = ac
        Input #1, ac
        .Text2.Text = ac
        .g1_frame1

        For i = 0 To 5

```

```

            .g1.Row = i
            For j = 0 To 7
                .g1.Col = j
                Line Input #1, ac
                .g1.Text = ac
            Next j
        Next i

        Input #1, al
        .List1.Clear
        .List2.Clear
        .List3.Clear
        .List4.Clear
        For i = 1 To al
            Input #1, a, b
            .List1.AddItem Str(a)
            .List2.AddItem Str(b)
        Next i
        Close #1
        .draw_pic1

    End If
End If

End With
quit:
    Unload Form2
    Form1.Enabled = 1
    Form1.Show
End Sub

Private Sub cmdno_Click()
    Unload Form2
    Form1.Enabled = 1
    Form1.Show
End Sub

Private Sub Dir1_Change()
    File1.Path = Dir1.Path
    File1.Refresh
End Sub

Private Sub Dir1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    If (File1.Tag = 0) And (Button = 2)
    Then
        Text2.Text = ""
        Text2.Visible = 1
        Text2.SetFocus
    End If
End Sub

Private Sub File1_Click()

```

```

        If File1.Tag = 0 Then
            Text1.Text = File1.List(File1.ListIndex)
            Text1.SetFocus
            Text1.SelStart = 0
            Text1.SelLength = Len(Text1.Text)
        Else
            Text1.Text = File1.List(File1.ListIndex)
        End If
    End Sub

Private Sub Form_Load()
    If Form1.Frame1.Tag = 0 Then
        File1.Pattern = "*.sta"
    Else
        File1.Pattern = "*.tra"
    End If
    Dir1.Path = Form1.Dir2.Path + "Wdata"
    File1.Path = Dir1.Path
    File1.Refresh
End Sub

Private Sub Text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Dim ac, bc As String
    On Error GoTo err1
    Select Case KeyAscii
        Case 27:
            Text2.Visible = 0
        Case 13:
            If Len(Text2.Text) <> 0
                Then
                    ac = Dir1.Path + "W"
                    + Text2.Text
                    Dir1.Path = ac
                End If
                Text2.Visible = 0
                Dir1.Refresh
            End Select
    Exit Sub

err1:
    Mkdir ac
    Dir1.Path = ac
    Resume Next
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    Unload Form3
End Sub

Private Sub Form_Load()
End Sub

```

Option Explicit

```

Private Sub cmdexit_Click()
    If style <> 0 Then Exit Sub
    If Val(Text1.Text) = 0 Then
        Form1.test_off
        Form1.save_setup
        Form4.Tag = 0
        Unload Form4
        Form1.Enabled = 1
        Form1.Show
    End If
End Sub

Private Sub cmdrst_Click()
    Form1.raser_reset
End Sub

Private Sub cmdspc_Click()
    Dim ad As Double
    Dim al As Long
    al = Val(curr(2).Text)
    ad = Val(curr(3).Text)
    spanc = ad / al
End Sub

Private Sub cmdzr_Click()
    zeror = Val(ras(0).Text)
    ras(1).Text = zeror
End Sub

Private Sub Form_Load()
    curr(5).Text = spanc
    ras(5).Text = spanr
End Sub

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Dim i, a, b As Integer
    Dim ad As Double
    If KeyAscii = 13 Then
        ad = Val(Text1.Text)
        a = Int(ad / 2000 * spanv)
        Text2.Text = a
        wr2(0) = Asc("w")
        wr2(1) = &H60
        wr2(2) = 2
        wr2(3) = a Mod 256
        wr2(4) = Int(a / 256)
        b = 0
    End If
End Sub

```

```
For i = 0 To 4
    b = b + wr2(i)
Next i
wr2(5) = b Mod 256
style = 2
Form1.com1.Output = wr2
seri_ans = wr2(5)
End If
End Sub
```

## 저작물 이용 허락서

|      |   |     |          |     |    |
|------|---|-----|----------|-----|----|
| 학 과  | 전기공학과   | 학 번 | 20047367 | 과 정 | 박사 |
| 성 명  | 한글: 채 봉    한문: 蔡 璿    영문: Chae Bong   |     |          |     |    |
| 주 소  | 광주광역시 북구 문흥동 명지아파트 102동 609호  |     |          |     |    |
| 연락처  | E-MAIL : elecceb@hanmail.net  |     |          |     |    |
| 논문제목 | 한글 : 자동초점조절용 VCM 액추에이터의 구동특성에 관한 연구   |     |          |     |    |
|      | 영문 : A Study on the Operating Characteristics of VCM Actuator for Auto Focusing |     |          |     |    |

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다                    음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함.  
다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

**동의여부 : 동의( 0 )    반대(    )**

2007 년 2 월 일

저작자:    채    봉    (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**



## 감사의 글

할렐루야 살아계셔서 역사 하고 계시는 좋으신 하나님께 모든 영광 드립니다.

본 논문이 완성되기까지 학문의 자세와 인생의 지표를 일깨워 주시고 시종일관 애정으로 이끌어 주신 백형래 지도교수님과 조금배 교수님께 깊이 감사드립니다.

수학과정 및 논문심사 과정에서 훌륭한 논문이 될 수 있도록 지도하여 주시고 조언을 아끼지 않으신 심사위원장님이신 오금곤 교수님, 이상일 교수님, 정수복 교수님, 이우선 교수님, 최효상 교수님, 서강정보대학 임양수 교수님, 전남과학대학 김대곤 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

본 논문이 완성되도록 어려운 여건속에서도 시간을 내어 도와준 전기계측시험 연구실의 임홍우 연구원과 전력전자 연구실의 박정민, 박정국, 김지훈, 정남인, 민병국 후배님 그리고 원우회 학우들과 주위에서 도와주신 학장님과 직장동료들에게도 깊은 감사를 드립니다.

힘들고 어려울 때마다 기도하여 주시고 힘이 되어주신 광주시민교회 정원철목사님과 부목사님들께도 감사드립니다.

오늘의 결실이 있기까지 물심양면으로 도와주신 부모님과 형제자매들 그리고 만학의 불편함을 말없이 도와주며 용기를 주었던 고마운 아내와 사랑스런 큰딸 유리, 귀여운 둘째딸 영랑, 자랑스러운 아들 유찬이와 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

2007년 1월

채 봉