

영구자석 다극 배치에 의한 가동 코일형 리 진동 액츄에이터의 특성

Characteristic of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator Permanent Magnet Arrangement

金 德 顯* · 姜 圭 洪** · 洪 正 杓[§] · 金 奎 卓^{§§}
(Duk-Hyun Kim · Gyu-Hong Kang · Jung-Pyo Hong · Gyu-Tak Kim)

Abstract - In order to overcome the demerit and to improve the operation characteristics of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator(MC-LOA) with single-pole permanent magnet, this paper presents two models having the balanced magnetic circuit by multi-pole permanent magnet arrangement. They are short coil type with two-pole single-sided and two-pole double-sided permanent magnet. The characteristics between single-pole and multi-pole permanent magnet type MC-LOA are compared. As a result, multi-pole type MC-LOA has more merits than single-pole type about operation characteristics improvement and machine volume. The characteristic analysis is performed by their dynamic analysis composed of kinetic and electric equations and Finite Element Method (FEM). The propriety of multi-pole type MC-LOA model is verified with analysis results.

Key Words - Single-pole, Multi-pole, Single-sided and double-sided permanent magnet

1. 서 론

가동 코일형 선형 액츄에이터(MC-LOA)에 있어서 자기 회로 구성은 영구자석 배치에 따라 달라진다. 영구자석을 단극으로 배치한 단극형 MC-LOA(Single-pole permanent magnet type MC-LOA)의 경우, 구조는 간단하지만 좌,우가 비대칭인 불평형 자기회로를 가지게 된다. 이러한 구조에서 무부하상태의 자기회로 불평형은 설계 시 양단부의 누설을 고려하여 개선할 수 있으나 가동자가 왕복운동을 하는 경우 코일의 인가전류 방향에 따른 공극자속의 불평형 문제는 해결이 어렵게 된다. 이는 곧 가동자 이동방향에 따른 추력의 불균형을 가져오게 되고 이동변위의 중심점을 이탈하여 가동자가 한쪽으로 밀리게 되는 편심작용의 수반을 의미한다 [1-4]. 이러한 문제점을 보완하고 MC-LOA 운전특성을 개선하고자 철심을 포화시켜 가동자 이동방향에 따른 자속밀도 차를 감소시켜 설계하는 방법과 가동자 이동방향에 따른 추력편차를 유한요소해석을 통하여 정밀하게 분석하고 이에 기초한 간단한 open-loop 제어기를 사용하여 PWM 제어에 의한 비대칭 전류를 인가하여 구동하는 방법도 제시되고 있다 [1,2].

그러나 영구자석을 다극으로 배치한 다극형 MC-LOA (Multi-pole permanent type MC-LOA)에서는 자기회로가 우측 철심부를 포함하지 않으므로 비자성체로 대체시켜 상,

하의 철심부를 지지하게 되면 상,하,좌,우가 대칭인 평형 자기회로를 구성할 수 있고 가동자 왕복운동 시 공극자속 불평형 문제를 해결할 수 있어 추력 불균형으로 인한 편심작용을 해소할 수 있다. 또한 자기회로를 구성하는 철심의 두께를 줄일 수 있어 기기의 부피가 적어지는 장점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 단극형 MC-LOA와 다극형 MC-LOA의 비교를 통하여 그 설계방법 접근의 타당성을 보여주고, 영구자석 다극 배치에 의해 평형 자기회로를 갖는 다극형 MC-LOA를 설계하였다 [1-7]. 제시되는 모델은 영구자석 2극을 철심 내부 한쪽 면에 배치한 2극 편측식 구조 (Single-sided permanent magnet type)와 철심 내부 양쪽 면에 배치한 2극 양측식 구조(Double-sided permanent magnet type) 두 가지로 각 모델에 대한 설계결과를 단극모델과 비교, 설명하였다. 설계 요구조건 중 부하중량과 운전 주파수를 가변시킨 경우 변위 동특성 해석을 통하여 설계의 타당성을 검증하였다.

2. 자기회로 구성을 통한 다극모델의 타당성

단극형 MC-LOA와 다극으로 배치된 2극 편측식모델의 상부 1/2 모델의 자기회로 구성을 그림 1에 나타내었다. 그림 1 (a)의 단극형 MC-LOA에 있어서는 우측의 철심부분이 자기회로에 포함되고 있어 전체적으로 상,하는 대칭이지만 좌,우는 비대칭의 불평형 자기회로로 된다. 이 경우 공극의 자속밀도는 가동자가 정방향(철심 내부로 이동) 진행시 역방향(철심 외부로 이동) 진행보다 커져 추력의 편차가 발생하고 이동변위의 중심이 철심 내부로 편심된다 [1,2]. 반면, (b)의 2극 편측식 모델은 자기회로 구성상 단극모델에서의 우측 철심부분은 불필요하게 되어 제거할 수 있고 대신 비

* 正 會 員 : 安東情報大 電氣科 助教授
** 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 BK教授 · 博士
§ 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 助教授 · 工博
§§ 正 會 員 : 昌原大 電氣工學科 副教授 · 工博
接受日字 : 2001年 3月 6日
最終完了 : 2001年 5月 23日

자성체를 이용하여 철심을 지지함으로서 상,하,좌,우가 대칭 평형인 자기회로를 구성할 수 있다. 즉, 공극자속밀도는 가동자 이동방향에 따른 편차없이 고르게 분포하게 되고 추력의 편차가 발생하지 않으므로 이동변위의 편심작용을 해소할 수 있다.

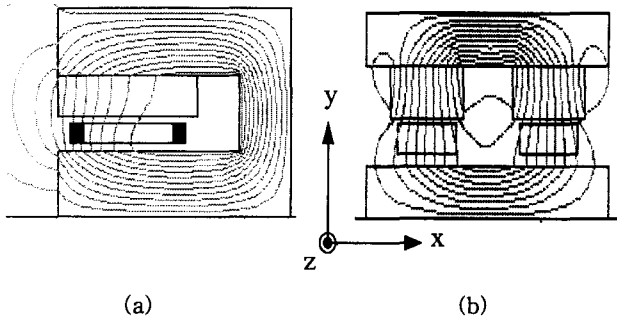


그림 1 각 모델의 자기회로

- (a) 단극형 MC-LOA의 자기회로
- (b) 다극형 MC-LOA의 자기회로

Fig. 1 Magnetic circuit of each model

- (a) Magnetic circuit of single-pole type model
- (b) Magnetic circuit of multi-pole type model

3. 영구자석 다극배치에 의한 MC-LOA의 설계 및 특성

다극형 MC-LOA의 설계 요구사항은 단극형과 비교하기 위하여 최대 이동변위 $\pm 3[\text{mm}]$, 운전 주파수 $12[\text{Hz}]$, 전체 부하중량 $3[\text{kg}]$, 추력은 $52[\text{N}]$ 으로 동일하게 정하였다[1,2].

단극형에서 사용한 영구자석은 잔류자속밀도 B_r 값이 $1.15[\text{T}]$ 인 Nd-Fe-B 계열로서 크기는 $65 \times 15 \times 50 [\text{mm}]$ 이었으며, 자기회로 구성에 있어서 누설을 고려한 옆면거리는 $20[\text{mm}]$, 철심두께는 $25[\text{mm}]$ 로 하여 MC-LOA의 x축 방향 총 길이는 $110[\text{mm}]$ 이다[1,2]. 다극형의 경우, 누설을 줄이기 위해서는 영구자석 사이의 거리를 많이 확보할수록 좋으나 단극모델과 상대적인 비교를 위하여 $20[\text{mm}]$ 로 동일하게 정하였으며, 영구자석의 크기는 편측식에서는 $29 \times 12 \times 50 [\text{mm}]$, 양측식에서는 $29 \times 6 \times 50 [\text{mm}]$ 로 하여 철심 한쪽 면에 2극을 취부하는 것으로 하였다. 그림 2는 MC-LOA의 설계 과정을 나타낸 것이다.

3.1 설계모델과 사양

그림 3과 4는 각각 설계된 모델의 형상과 자기회로 구성을 보여주는 그림이고 표 1은 설계된 모델의 치수와 사양을 나타낸 것이다

단극형의 경우 영구자석과 우측의 철심 사이의 거리를 $20[\text{mm}]$ 로 하였을 때 누설계수는 약 1.3174 이었다[1]. 2극 모델에서 영구자석과 영구자석 사이의 거리를 $20[\text{mm}]$ 로 한 경우 그림 3 (a)의 2극 편측식에서는 약 1.6195 로서 단극형보다 약 23% 증가하였으며 이는 그림 3 (a)에서 보는 바와 같이 양단부의 누설과 영구자석 사이에서의 누설이 단극형

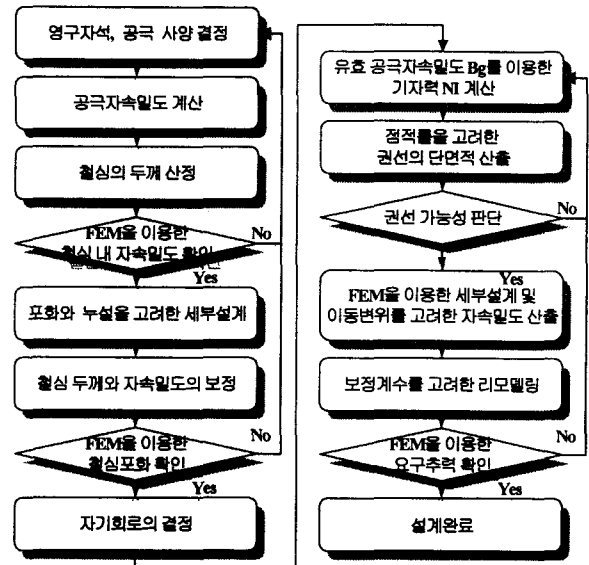


그림 2 MC-LOA의 설계과정

Fig. 2 Design process of MC-LOA

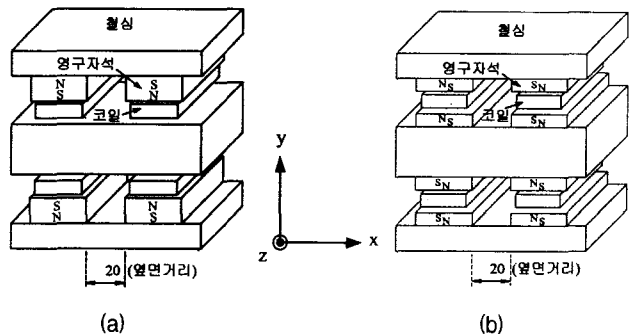


그림 3 설계모델의 형상[단위 : mm]

- (a) 2극 편측식 모델
- (b) 2극 양측식 모델

Fig. 3 Configuration of design model[unit : mm]

- (a) 2 pole single-sided model
- (b) 2 pole double-sided model

의 영구자석과 우측 철심부 사이의 누설보다 더 크기 때문이다. 그림 3 (b)의 2극 양측식에서는 약 1.3056 으로서 단극형보다 약 0.9% 감소하였으며 이는 그림 3 (b)에서처럼 양측식이 편측식에 비해 자속의 집중 효과가 크기 때문이다.

그리고 철심의 두께는 재질상 포화자속밀도를 $1.6[\text{T}]$ 로 보아 결정하였으며 유한요소해석 결과, 영구자석과 코일을 동시에 여자시킨 경우 철심 내부의 자속밀도는 그림 3 (a)의 2극 편측식 모델은 약 $1.55[\text{T}]$, 그림 3 (b)의 2극 양측식 모델은 약 $1.53[\text{T}]$ 로 포화되지 않음을 확인하였다.

MC-LOA의 체적은 단극형에 있어서는 $110(x\text{축}) \times 156(y\text{축}) \times 50(z\text{축})[\text{mm}]$ 이었으며, 그림 3.2의 2극 모델에서는 $98 \times 94 \times 50[\text{mm}]$ 으로서 우측 부분에 비자성체의 지지물 취부를 고려하여도 단극형에 비하여 약 40% 정도 감소하였다.

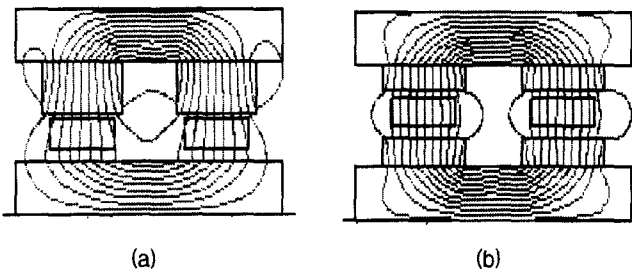


그림 4 설계모델의 자기회로
(a) 2극 편측식모델의 자기회로
(b) 2극 양측식모델의 자기회로

Fig. 4 Magnetic circuit of design model
(a) Magnetic circuit of 2 pole single-sided model
(b) Magnetic circuit of 2 pole double-sided model

표 1 설계모델의 사양
Table 1 Specification of design model

항 목	단	2극	2극	단	
	위	편측식	양측식	위	
철심	두께	25	12	12	mm
	축방향 길이	50	50	50	mm
	재질	S30	S30	S30	
영구 자석	잔류자속밀도	1.15	1.15	1.15	T
	폭×길이×두께	65×50×15	29×50×12	29×50×6	mm ³
	턴수	309	350	312	턴
코일	저항	2.71	2.45	2.33	Ω
	도체직경 (피복포함)	0.882	0.882	0.882	mm
	도체 단면적	0.5027	0.5027	0.5027	mm ²
	기계적 공극	3.43	1.36	1.81	mm
마찰계수	0.003	0.003	0.003	N·sec/m	

표 1에서 단극형이 다극형에 비해 코일 턴 수는 적은 반면 저항은 크다. 이는 영구자석 크기가 달라 단극형이 유효 공극자속밀도가 더 크며 중간 철심부의 두께가 두꺼워 도체의 전체 길이가 다극형에 비해 길기 때문이다.

3.2 설계모델 해석

해석 모델은 상·하 대칭구조를 가지므로 전체 모델 중앙에 있는 철심을 기준으로 상부의 1/2만을 채택하고 고정 경계조건을 적용하여 해석 대상을 결정하였다.

그림 5는 영구자석과 코일을 동시에 여자시킨 경우 2극 편측식과 양측식모델에 있어서 1극분의 유효 공극 자속밀도 분포를 나타낸 것이다. 단극형에서는 정방향 진행 시 공극 자속밀도는 역방향 진행 시보다 현저히 큰 값을 가지게 된다. 이는 자기회로의 불평형으로부터 발생하여 가동자 이동 방향에 따른 코일의 전류 영향이 이러한 현상과 중첩되어 자속밀도의 불평형이 크게 발생하게 된 것이다.[1,2].

그러나 본 논문에서 제시한 평형 자기회로를 갖는 다극형

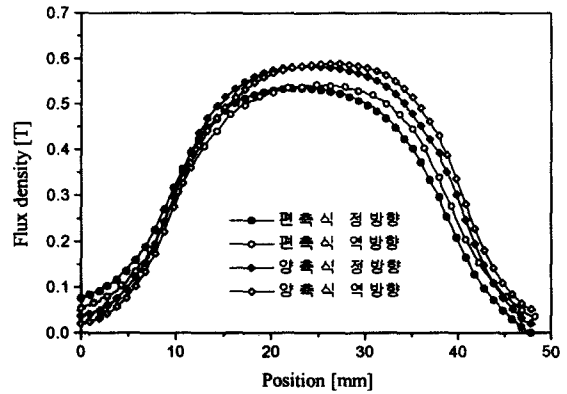


그림 5 다극형 MC-LOA의 유효 공극 자속밀도 분포
Fig. 5 Air-gap flux density distribution of Multi-pole type MC-LOA

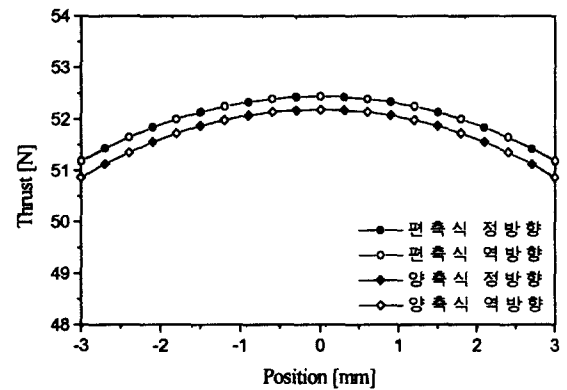


그림 6 다극형 MC-LOA의 진행방향에 따른 추력분포
Fig. 6 Thrust distribution of Multi-pole type MC-LOA according to moving direction

MC-LOA의 경우 그림 5에서 보는 바와 같이 가동자 이동 방향에 따른 유효 공극 내의 자속밀도 분포는 균일한 것으로 볼 수 있고 2극 전체에 있어서는 가동자 진행방향에 따른 오차가 거의 없게 된다. 또한, 2극 편측식모델보다는 2극 양측식모델의 자속밀도 분포가 더 균일하고, 누설계수가 큰 2극 편측식모델보다는 누설계수가 적은 2극 양측식모델의 자속밀도가 높은 것을 알 수 있다.

가동자 도체에 작용하는 추력은 로렌츠 법칙(Lorenz law)으로 계산하였으며 그림 6은 각 모델의 가동자 진행방향별 추력 분포를 나타낸 것이다. 단극형의 경우 이동변위 중심에서 정방향 진행 시의 추력이 역방향 진행 시보다 약 3.1[N] 정도가 크게 나타났으며(그림 7 참조) 이와 같이 정·역방향 운전시의 추력 편차가 클수록 가동자의 편심현상은 급격하게 발생한다[1,2]. 그러나 설계된 평형 자기회로를 갖는 모델에서는 그림에서 보는 바와 같이 가동자 진행 방향에 따른 추력편차(정방향 추력-역방향 추력)는 거의 없이 일치하고 있다. 그림 7과 8은 각각 단극형과 설계된 평형 자기회로를 가지는 모델에서의 가동자 진행방향에 따른 추력의 편차를 나타내었다. 단극형의 경우 정방향과 역방향의 추력차는 그림 7에서 보는 바와 같이 이동변위 전체에

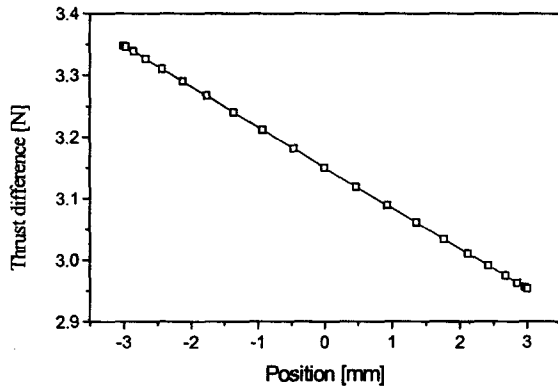


그림 7 단극형 MC-LOA의 가동자 진행방향에 따른 추력편차
 Fig. 7 Thrust difference of single-pole type MC-LOA according to mover direction

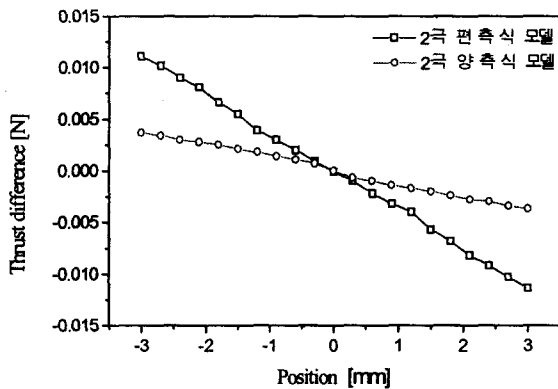


그림 8 다극형 MC-LOA의 가동자 진행방향에 따른 추력편차
 Fig. 8 Thrust difference of multi-pole type MC-LOA according to mover direction

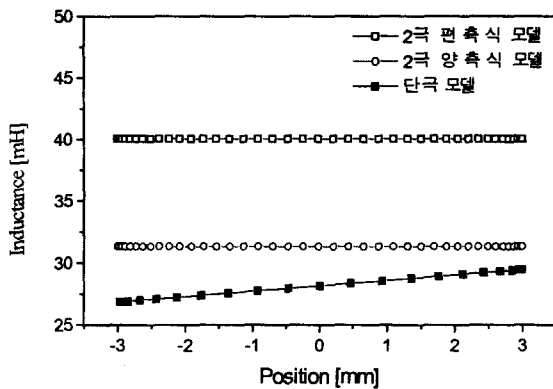


그림 9 가동자 위치에 따른 인덕턴스
 Fig. 9 Inductance according to mover position

걸쳐 정방향 추력이 역방향 추력보다 커 그 편차만큼이 한 쪽 방향으로 지속적으로 더 작용하여 편심작용이 수반되게 된다. 그러나 그림 8의 평형 자기회로를 갖는 2극의 설계 모델에서는 모두 변위 중심(영구자석 중심)을 기준으로 좌

반부(-x)에서는 정방향의 추력이 역방향의 추력보다 크고, 우반부(+x)에서는 역방향의 추력이 정방향의 추력보다 크게 나타난다. 그리고 변위중심을 기준으로 +,-상대적인 변위에서의 추력편차는 같게 된다. 따라서 평형 자기회로를 갖는 경우에는 가동자가 변위 중심을 벗어나지 않게 되고 편심작용없이 정상적인 운전이 가능하게 된다. 가동자 진행 방향에 따른 추력의 편차는 양축식보다 편축식이 더 크게 나타나는데 이는 그림 4에서 보는바와 같이 양축식이 편축식보다 자속의 집중효과가 크므로 공극에서의 코일에 의한 기자력의 영향은 양축식보다 편축식이 더 크다는 것을 나타낸다.

3.3 인덕턴스 특성

평판형 MC-LOA에서는 가동자 코일 부분은 실제 전자력을 발생하는 부분 외에 측면 부분도 존재하고 있으므로 정확한 파라미터값 산출을 위해서는 인덕턴스 계산 시 이 부분의 누설자속에 의한 인덕턴스도 포함되어야 한다. 그림 9는 단극모델과 평형 자기회로를 갖는 설계된 모델들의 이동 변위 범위 내에서 코일 엔드부분의 누설자속을 FEM 해석에 의해 고려한 인덕턴스 값을 나타내고 있다.

단극모델에서 인덕턴스 특성은 가동자 이동방향에 따라 직선적으로 증가하거나 감소하는 분포를 보였고 변위 중심을 기준으로 이동변위 끝단(± 3 [mm])에서의 그 변동율은 약 5.4[%]이었다.

평형 자기회로를 갖는 설계 모델의 경우 인덕턴스 특성은 2극 편축식 모델에서는 변위 중심에서 그 최대값을 가지며 변위 중심을 기준으로 이동변위 끝단(± 3 [mm])에서 약 0.0079[%], 2극 양축식 모델에서는 변위 중심에서 최소값을 가지며 변위 중심을 기준으로 이동변위 끝단(± 3 [mm])에서 약 0.0045[%]의 변동율을 가진다. 따라서 이동 변위 범위내에서 가동자 위치에 따른 인덕턴스 차이는 단극형에 비하여 미미하므로 거의 일정한 분포를 가지게 되고, 누설자속을 고려하지 않더라도 그 특성은 동일하다.

3.4 코일폭 변화에 대한 추력변화

그림 10과 그림 11은 그림 3과 표 1에 나타난 기계적인 공극과 코일의 단면적을 동일하게 유지하면서 코일 적층높이와 적층폭을 변화 시킨 경우의 추력의 변화를 나타내는 그림이다. 2극 편축식모델의 경우 실제 설계된 코일 적층높이와 적층폭은 6.64×23 [mm]로서 최대추력을 내는 경우는 적층폭이 약 27 [mm]일 때임을 알 수 있으며, 이 경우 설계 모델의 추력보다 약 2.1[%]정도 향상시킬 수 있다. 또한 2극 양축식모델의 경우는 설계모델의 경우 6.19×22 [mm]이고 적층폭이 약 26[mm]일 때 최대 추력을 나타내며 설계 모델의 추력보다 약 1.6[%]정도 향상시킬 수 있다.

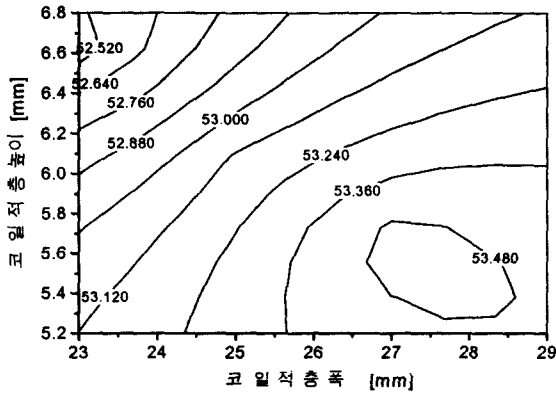


그림 10 2극 편측식모델의 코일폭 변화에 따른 추력변화
Fig. 10 Thrust variation according to coil width variation of 2 pole single-sided model

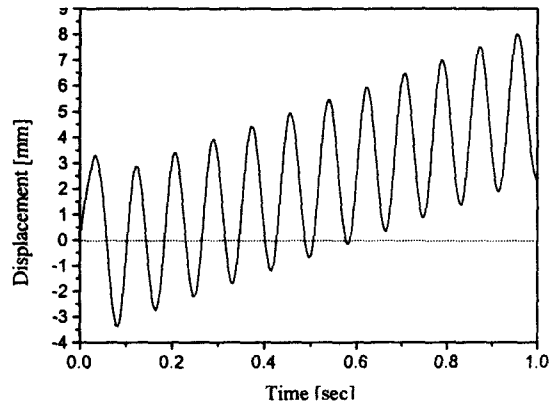


그림 12 단극모델의 변위특성
Fig. 12 Displacement characteristic of Single-pole model

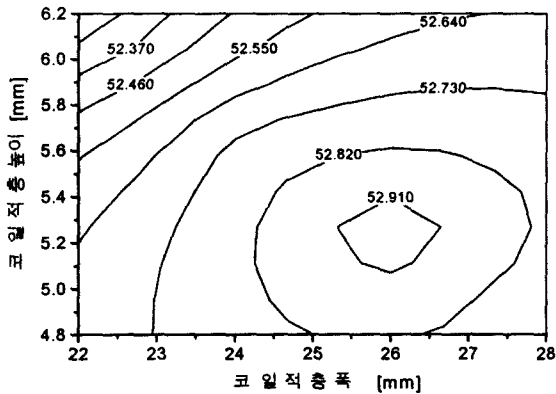


그림 11 2극 양측식모델의 코일폭 변화에 따른 추력변화
Fig. 11 Thrust variation according to coil width variation of 2 pole double-sided model

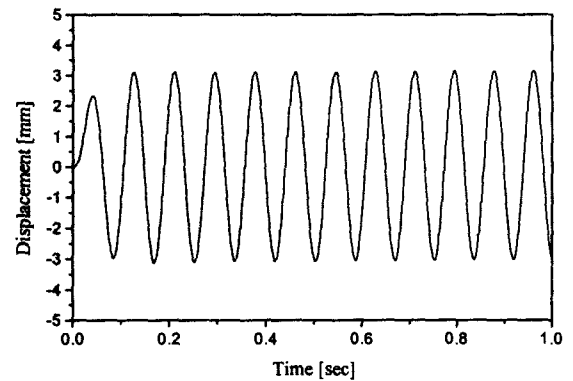


그림 13 2극 편측식 모델 변위특성
Fig. 13 Displacement characteristic of 2 pole single-sided model

4. 동특성 해석결과

동특성 해석은 이동변위가 정현적으로 변한다는 가정 하에 운동방정식을 구성하였으며 전압방정식과 결합하여 해석하였다. 전압방정식을 구성하는 파라미터들은 유한요소해석으로 산정하였으며 시간에 따른 변위특성은 시간 미분항을 이산화하여 계산하는 시간차분법을 적용하였다.

그림 12, 13, 14는 각각 단극모델과 설계된 2극 편측식과 양측식모델의 시간에 대한 변위특성 해석결과를 보여주고 있다. 그림 12에서 보는바와 같이 단극모델에서는 불평형 자기회로에 기인하는 가동자 이동방향에 따른 추력 불균형 때문에 이동변위의 중심이 한쪽으로 편심되는 현상이 나타나 MC-LOA의 정상적인 운전을 방해받게 된다.[1,2] 반면, 그림 13과 14의 다극모델의 변위특성은 이동변위 중심을 기준으로 정상적인 운전을 하게 된다.

그림 15와 16은 설계된 2극 편측식 및 양측식모델에 대하여 구동전압(편측식 7.4[V], 양측식 7.2[V])을 일정하게 한 상태에서 부하중량과 주파수를 변화시킨 경우의 변위특성을 나타낸 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 요구사양인 부하

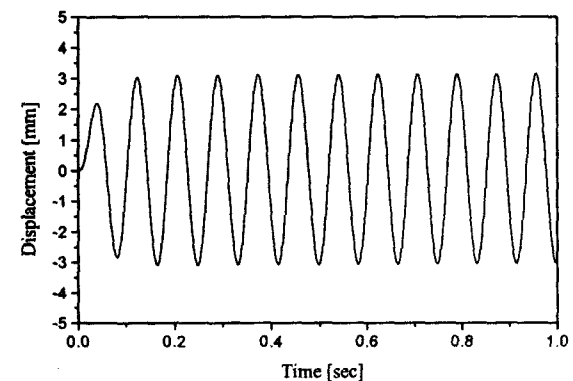


그림 14 2극 양측식 모델 변위특성
Fig. 14 Displacement characteristic of 2 pole double-sided model

중량 3[kg], 운전 주파수 12[Hz]에서 이동변위 ± 3 [mm]를 만족하고 있음을 알 수 있다.

그림 17과 18은 설계된 2극 편측식 및 양측식모델에 대하여 부하중량이나 주파수를 변화시킨 경우, 요구 이동변위 ± 3 [mm]를 만족하기 위한 구동전압을 나타낸 것이다. 부하중량 변화에 대한 구동전압의 특성은 요구사양보다 적은 부

하에서는 편측식이 양측식에 비해 좋게 나타나지만 그 차이는 적고, 요구사양보다 큰 경우에는 양측식이 편측식에 비해 좋게 나타나며 그 차이는 크다. 운전 주파수 변화에 대한 구동전압의 특성은 요구사양보다 적은 경우에는 편측식과 양측식 모두 비슷하게 나타나지만 요구사양보다 큰 경우에는 양측식이 편측식보다 더 좋게 나타난다. 따라서, 부하중량과 운전주파수 두 가지 조건 변화에 대한 전반적인 구동전압 변화 특성은 양측식이 편측식보다 좋다고 할 수 있다.

그림 19, 20은 그림 15, 16의 일정전압에 대하여 부하중량과 운전 주파수를 가변시킨 경우의 변위특성을 나타낸 그림이다. 부하중량이나 운전 주파수가 요구사양보다 적은 경우에 추력은 필요 이상 크게 발생하므로 이동변위는 요구사양인 $\pm 3[\text{mm}]$ 보다 커지며, 부하무게나 운전 주파수가 요구사양보다 큰 경우 추력은 필요한 크기보다 적게 발생하므로 이동변위는 요구사양인 $\pm 3[\text{mm}]$ 보다 작아진다. 또한, 요구사양보다 큰 변화에 대해서는 운전 주파수 변화보다 부하변화에 대한 변위특성이 좋게 나타난다 이 경우 부하변화에 대해서도 미소한 편심작용이 발생하므로 시간이 경과함에 따라 결국은 정상적인 운전에 방해될 받게 된다.

그림 21, 22는 설계모델에서 요구 이동변위를 만족하기 위하여 구동전압을 부하중량이나 운전 주파수와 같이 변화시킨 경우의 변위특성을 나타낸 것이다. 부하중량과 운전 주파수, 두 가지 조건이 요구사양보다 적은 경우에는 그림 21, 22 (a)에서 보는바와 같이 구동전압을 적게 변화시켜 이동변위의 편심작용 없이 정상운전을 할 수 있으나, 반대로 큰 경우에는 그림 21, 22 (c)에서 보는바와 같이 구동전압도 크게 변화시켜야 한다. 구동전압이 큰 경우 구동 초기의 관성이 크게 작용하게 되어 가동자가 한쪽으로 치우치게 되며 이동변위의 편심작용이 수반하게 되어 안정된 운전을 기대하기 어렵게 된다..

5. 결 론

본 논문에서는 영구자석을 다극으로 배치하여 평형 자기 회로를 가지는 MC-LOA를 설계하였으며 특성해석을 통하여 단극으로 배치한 경우와는 달리 안정된 운전을 할 수 있음을 확인하였다. 또한, 전압방정식을 통하여 얻은 구동전압을 기준으로 일정전압에서의 운전은 요구사양의 부하중량과 운전 주파수 이하의 조건에서는 정상운전이 가능하나 요구사양 이상의 조건에서는 안정된 운전을 기대하기 어렵다는 사실을 알 수 있었다. 일정한 이동변위를 얻기 위하여 부하중량과 운전 주파수 변화와 구동전압을 동시에 변화시키는 경우에도 요구사양 이하의 조건에서는 안정된 운전이 이루어지지만 요구사양 이상의 조건에서는 초기 관성 때문에 안정된 운전이 어렵다는 사실을 확인하였다. 따라서, MC-LOA의 설계 시 부하나 주파수 가변 조건을 고려하여 설계하여야 안정된 운전을 기대할 수 있게 된다.

제시된 편측식과 양측식모델에서 파라미터의 평가는 양측식이 편측식에 비해 더 양호하게 나타나지만 특성은 별 차이가 없으므로 설계, 제작 시에는 기계적 구조의 복잡성도 고려되어야 되리라 사료된다.

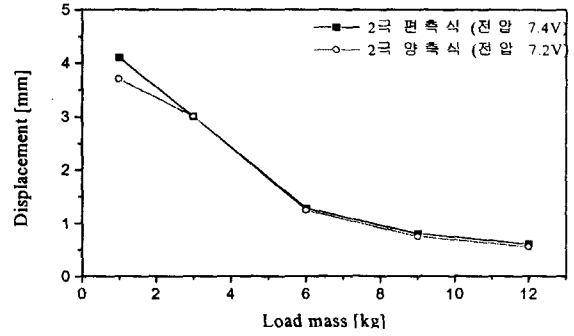


그림 15 부하에 따른 변위특성
Fig 15 Displacement characteristic according to load mass

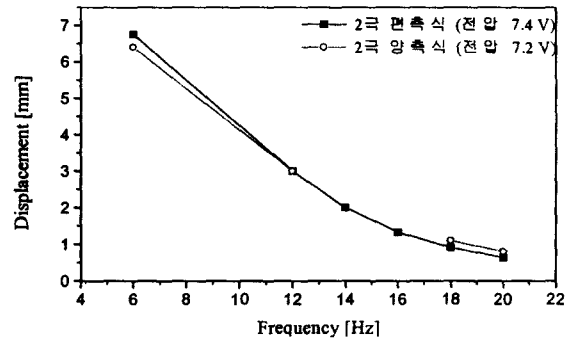


그림 16 주파수에 따른 변위특성
Fig 16 Displacement characteristic according to frequency

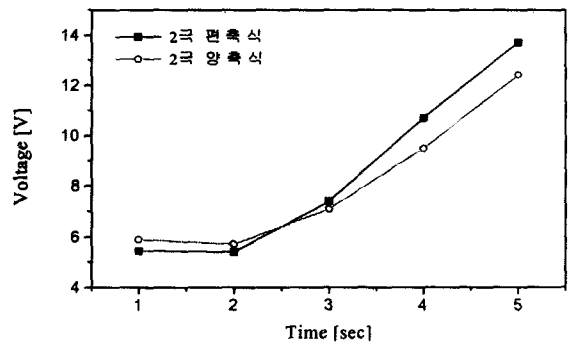


그림 17 부하중량 변화에 따른 구동전압
Fig. 17 Voltage according to load mass variation

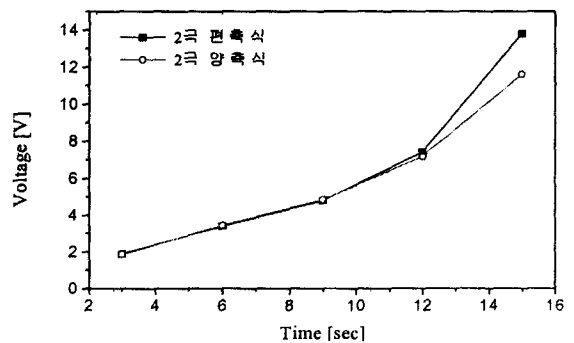
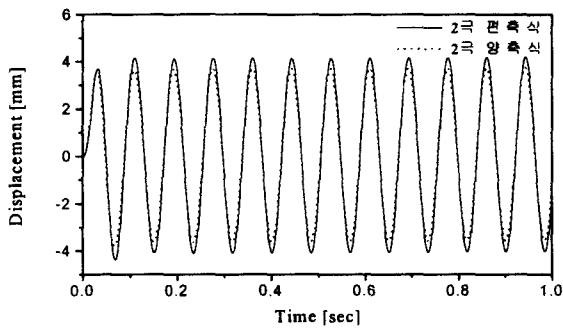
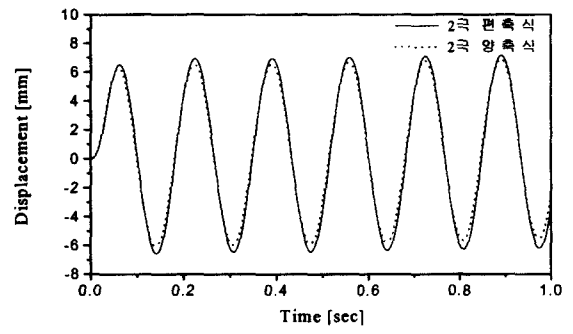


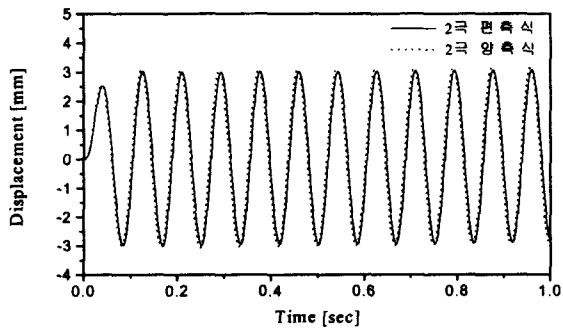
그림 18 주파수 변화에 따른 구동전압
Fig. 18 Voltage according to frequency variation



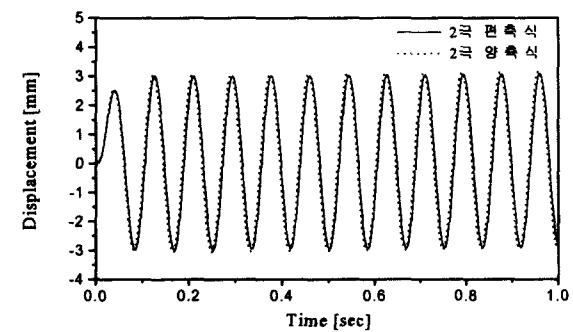
(a)



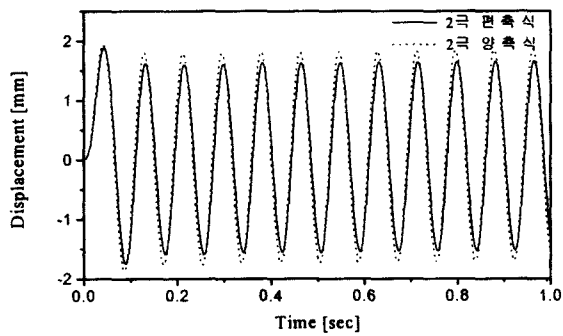
(a)



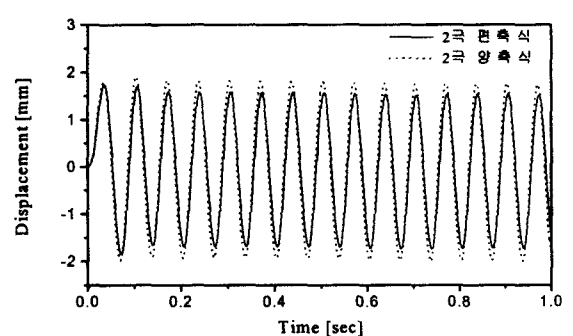
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 19 설계모델의 일정전압에 대한 무게변화에 따른 변위특성

- (a) 부하중량 1kg
- (b) 부하중량 3kg
- (c) 부하중량 5kg

Fig. 19 Displacement characteristics with constant voltage according to load variation of design model

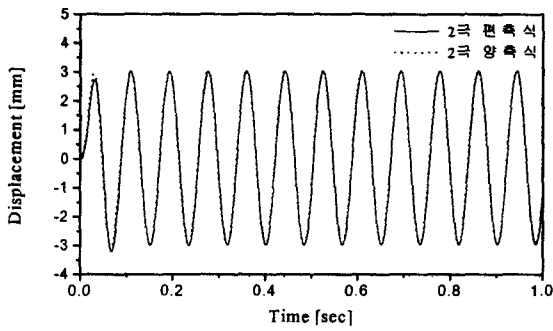
- (a) Load mass 1kg
- (b) Load mass 3kg
- (c) Load mass 5kg

그림 20 설계모델의 일정전압에 대한 주파수변화에 따른 변위특성

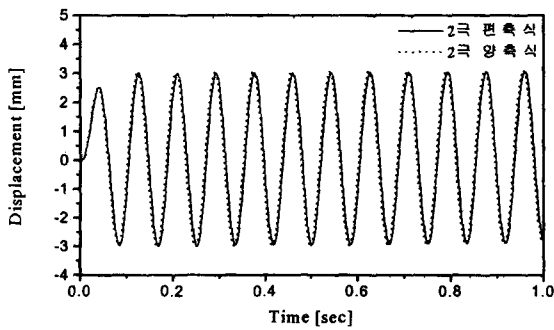
- (a) 주파수 6Hz
- (b) 주파수 12Hz
- (c) 주파수 15Hz

Fig. 19 Displacement characteristics with constant voltage according to frequency variation of design model

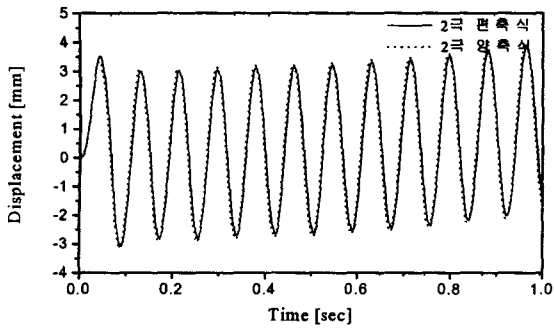
- (a) Frequency 6Hz
- (b) Frequency 12Hz
- (c) Frequency 15Hz



(a)



(b)



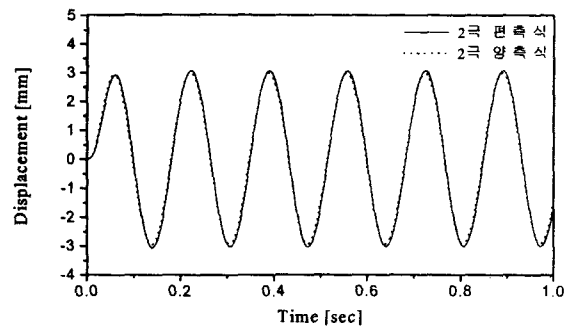
(c)

그림 21 설계모델의 부하 및 구동전압에 따른 변위특성

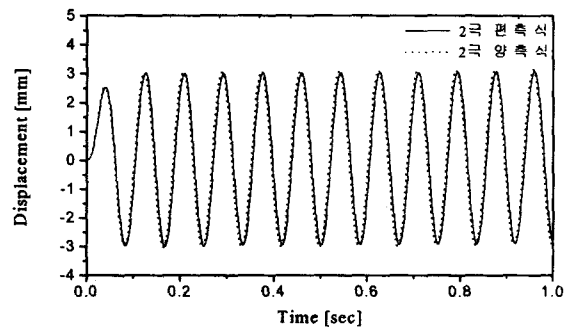
- (a) 부하 1kg
- (b) 부하 3kg
- (c) 부하 5kg

Fig 21 Displacement characteristics according to load variation and voltage of design model

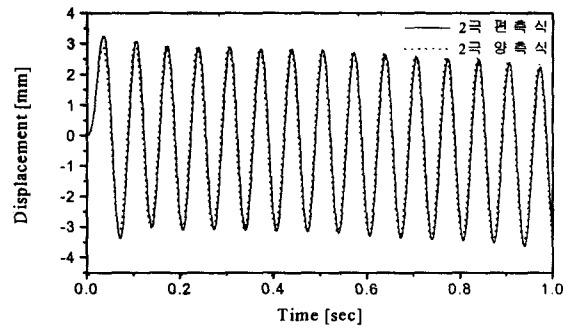
- (a) Load mass 1kg
- (b) Load mass 3kg
- (c) Load mass 5kg



(a)



(b)



(c)

그림 22 설계모델의 주파수 및 구동전압에 따른 변위특성

- (a) 주파수 6Hz
- (b) 주파수 12Hz
- (c) 주파수 15Hz

Fig. 22 Displacement characteristics according to frequency variation and voltage of design model

- (a) Frequency 6Hz
- (b) Frequency 12Hz
- (c) Frequency 15Hz

감사의 글

본 연구는 2000년도 창원대학교 연구비 및 공작기계 기술연구센터의 지원에 의한 연구 결과임

참 고 문 헌

- [1] 김규탁 외 "불평형 자기회로를 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터의 설계 및 특성해석", 전기학회 논문지 49B권 6호, pp403~410, 2000. 6.
- [2] 김규탁 외 "자기회로 불평형을 고려한 가동 코일형 리니어 진동 액추에이터의 운전특성 개선", 전기학회 논문지 49B권 11호, pp713~719, 2000. 11.
- [3] 장석명 외, "영구자석 계자와 전기자 자속의 상호작용 효과를 고려한 가동코일형 리니어 모터의 정특성", 전기학회 논문지 vol. 48B, no. 1, pp. 19~26, 1999. 1.
- [4] 장석명 외, "가동코일형 리니어 왕복 액추에이터의 동특성", 전기학회 논문지 vol. 49B권 3호, pp180~187, 2000.
- [5] Naila Mikhaeil-Boules, "Design and Analysis of Linear Actuator for Active Vibration Cancellation", General Motors Corporation, 1995. IEEE.
- [6] William H. Hayt, JR., "Engineering electromagnetics." Fifth edition, McGRAW-HILL international editions, 1989.
- [7] H. Wakiwaka, H. Yajima, S. Senoh and H. Yamada, "Simplified Thrust Limit Equation of Linear DC Motor", IEEE, Vol. 32, pp. 5073-5075.

저 자 소 개



김 덕 현 (金 德 顯)

1966년 7월 10일 생. 1992년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 창원대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1996년 한화기계 자동화 사업부. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정, 안동 정보

대학 전기과 조교수.

Tel : 054-820-8133

E-mail : dh0710@www.ait.ac.kr



홍 정 표 (洪 正 杓)

1959년 4월 17일 생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원 1990년~1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구

원. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 조교수.

Tel : 055-279-7517

E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr



강 규 홍 (姜 圭 洪)

1967년 11월 5일 생. 1992년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~1998년 LG전자(주) 주임연구원. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박) 현재 창원대 BK교수.

Tel : 055-279-7519

E-mail : kgh1004@cosmos.changwon.ac.kr



김 규 탁 (金 奎 卓)

1961년 11월 12일 생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수. 1996년~1997년 일본

早稻田大 客員研究員.

Tel : 055-279-7515

E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr