

트래킹 코일 최적화를 통한 광픽업 액추에이터의 동특성 개선 Improvement of Dynamic Characteristics through Optimization of Tracking Coils

◦ 정 기 원* · 이 동 주* · 박 노 철* · 조 원 익** · 박 영 필***

Gi-Won Jung, Dong-Ju Lee, No-Cheol Park, Won-Ik Cho and Young-Pil Park

Key Words : Resonance(공진), Response surface methodology(반응표면법)

ABSTRACT

Recently, the optical disk drive that is thin in thickness has been demanded by the popularization of notebook PC. The device that controls the thickness of a drive is the height of optical pickup. Therefore, researches about this are going on and an asymmetric actuator is the good choice for this target. However, the actuator of this design has troubles that a subsidiary resonance is likely to be actuated by discord between the center of force and the mass of center. In this paper, relation between the tracking coil and the subsidiary resonance is analyzed and dynamic characteristics of an actuator are improved by using experiments design and response surface method.

1. 서 론

컴퓨터는 1970년대 후반부터 가격이 하락하여 대중화 되기 시작했으며, 그에 따라 개인용 컴퓨터(PC: Personal Computer)의 시대가 개막되었다. 컴퓨터의 크기 변화에 따라 초기의 데스크톱(desktop)에서 랩톱(laptop), 노트북(notebook), HPC(Hand-held Personal Computer), PDA(Personal Digital Assistants)까지 소형화가 급속하게 진행 중이다. 이를 뒷받침하는 정보저장기기 또한 이와 같은 발전 경향을 띠며 얇은 두께의 광디스크 드라이브에 대한 요구가 커지고 있다. 드라이브의 두께를 줄이기 위해 핵심부품인 광픽업의 두께를 줄이려는 노력들이 계속되어 왔다. 이러한 방안에는 크게 두 가지로 분류된다. 첫째가 기존의 광픽업 액추에이터의 틀에서 벗어나 새로운 메커니즘을 적용하는 방법[1]이다. 이것은 혁신적으로 두께를 줄일 수 있기는 하나 비용면에서나 실제 제품의 적용면에서 문제점들이 많다. 둘째는 기존의 대칭형 광픽업 액추에이터에서 두께를 줄이기 위해 대물렌즈를 구동부에서 돌출한 형태로 만드는 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 대물렌즈의 바로 아래에 반사미러를 배치할 수 있으므로 짝아진 광로만큼 광픽업의 두께를 줄일 수 있다. 그런데 액추에이터는 무게중심과 힘중심

이 일치하여야 불필요한 부공진이 발생하지 않는다[2]. 대칭형 액추에이터는 대칭형상 때문에 이러한 점들을 쉽게 일치시킬 수가 있어서 부공진에 기여하는 힘과 모멘트의 발생이 억제되어 부공진의 크기를 최소화할 수 있는 반면에 비대칭형에서는 이러한 힘과 모멘트의 발생 가능성이 증대되어 부공진이 커지는 문제를 갖고 있으며, 부공진은 제어불가능하므로 이것이 제어대역안에 존재하면 제어안정성을 해치게 된다.

이 문제를 해결하기 위해 기존의 비대칭형 액추에이터에서는 질량중심과 구동중심을 최대한 일치시키거나[3], 피칭방향의 회전관성을 크게 하거나[4], 부공진모드의 노드점을 구동중심과 일치시키는 방안[5], 지지부의 강성을 변경하는 방안[6] 등이 제시되고 있다. 그러나 앞에서 언급한 세 개의 기하학적 중심이 잘 일치하는 경우에도 비대칭형 액추에이터에서는 자속누설(magnetic flux leakage)에 의한 부공진이 발생하므로 그 영향을 평가하는 것이 중요하다. 기존의 연구결과를 보면 자속누설이 부공진에 미치는 영향을 평가하고, 이런 누설자속 차폐를 위해 새로운 자기회로 형성을 통한 방법을 제시하였고[7], 자속 누설을 적극적으로 이용하여 부공진을 일으키는 모멘트를 상쇄시키는 반모멘트를 발생시켜, 부공진을 억제하는 방법[8]을 제시하기도 하였다.

이에 본 논문에서는, 콤보(combo) 드라이브의 광픽업 액추에이터를 대상으로 하여, 동특성 실험을 수행하고 이를 바탕으로 연성해석[9]을 통하여 해석모델을 튜닝(tuning)하였다. 이렇게 튜닝된 모델을 이용하여 트래킹 코일과 부공진의 관계를 공진과 반공진의 관점으로 분석하였고, 액추에이터의 부공진의 억제와 트래킹 감도의 증가를 목표

* 연세대학교 정보저장기기연구센터
E-mail : kjkwww@empal.com
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460
** 삼성전자 OMS 사업부
*** 연세대학교 기계공학과

로 이동특성을 고려한 실험계획법(experiments design)을 수행하였다. 그리고, 추출된 디자인 변수를 바탕으로 반응표면법(response surface method)을 사용하여 트래킹 코일을 최적화했다.

2. 본 론

2.1 액추에이터의 동특성 실험과 시뮬레이션

Fig. 2 는 대상 콤보 드라이브의 광픽업 액추에이터이다. 이에 대한 기본적인 동특성 실험을 수행하고 Fig. 3 과 같은 트래킹 방향으로의 동특성을 추출한다. 대상 모델을 정립하기 위하여 유한요소 해석 툴을 이용하여 자기해석과 구조해석을 수행한다. 이렇게 구하여진 해석 모델은 해석상의 오차와 조립상의 오차, 가공상의 오차 등으로 인하여 실험 값과 동특성의 차이를 보이게 된다. 따라서, 정확한 해석모델을 얻기 위해 실험값을 기준으로 다음과 같이 튜닝한다. 최종적으로, Fig. 4 과 같은 튜닝된 해석 모델을 얻을 수 있다.

2.2 부공진에 대한 원인분석

비대칭형 액추에이터는 Fig. 5 (뭐가 포커싱이고 트래킹??? 좌표축도 잡아야...)와 같이 포커싱 코일과 트래킹 코일을 한 면에 위치시킬 수 없기 때문에 힘중심과 무게중심이 일치할 수 없다. 따라서, 두 코일 모두 힘중심이 무게중심과 맞지 않거나 적어도 둘 중 하나는 틀어지게 된다. 거기에다, 제작상의 오차로 인한 틀어짐까지 발생한다면 사실상 부공진을 억제하는 것은 쉽지 않은 일이다. 이러한 부공진은 병진운동만 하는 2 축 액추에이터에서 제어될 수 없기 때문에, 제어대역 안에 부공진이 있을 경우 서보의 안정성이 보장받을 수 있도록 고주파로 이동시키거나 억제되어야 한다. 대상 액추에이터의 동특성 그래프를 보면, 트래킹 방향으로 가진하였을 경우 2kHz 근방에서 부공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이 모드는 Z 축 중심으로 회전하는 요잉모드(yawing mode)이다. 이에 대한 트래킹 코일의 영향을 보기 위하여 기구적인 제약조건 안에서 그림(안에서 밖으로 어떻게 이동한거지...)과 같이 코일을 이동시켜가며 동특성 그래프를 그려본다. 요잉모드가 발생하는 주파수 대역에서 공진봉의 크기와 위상이 코일의 위치에 따라 바뀌는 것을 볼 수 있다. 초기모델에 대해 코일을 그림과 같이 4 등분으로 나누어 Z 축 중심의 회전 M_z 에 기여하는 X, Y 축 방향 힘인 f_x, f_y 을 구하고 모멘트암(moment arm)을 구하

여 회전을 분석한다. Fig. 7 과 Fig.8 은 각각의 코일의 부분들이 회전에 기여하는 정도를 나타낸 개략도이다. 현 모델의 무게중심은 트래킹 코일보다 대물렌즈 방향으로 0.12mm 앞에 위치하므로 트래킹 구동력에 의해 양의 회전모멘트 $+M_z$ 가 발생한다. 또한, Fig. 5 에서 보는 바와 같이, 자기회로부의 마주보는 자석에 의해서 N 극에서 나온 자속(flux)이 반대편 자석 S 극의 중심으로 집중된다. 이로 인해 Fig. 8 과 같이 1, 2, 3, 5, 7, 8 번 코일부에서는 누설자속과 반응하여 음의 회전모멘트 $-M_z$ 를 발생시킨다. 앞에서 보았던 트래킹 코일의 위치에 따른 요잉모드의 공진봉의 크기와 위상의 차이는 이에 기인한 것으로 보인다. 이를 각각의 경우에 대해 분석하기 위해 트래킹 구동력에 의해 발생하는 모멘트와 누설자속에 의해 가진되는 반모멘트를 해석상으로 Table 1 과 같이 비교해 보았다. Table 1 과 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 $+M_z$ 보다 $-M_z$ 가 작으면 공진이 먼저 뜨고 반공진이 나중에 뜨게 되고 그와 반대이면 반공진이 먼저 뜨고 공진이 나중에 뜨게 된다. 각각의 공진봉과 위상의 크기는 어떤 모멘트가 얼마만큼 더 크냐에 의존하게 된다. 따라서 적절한 코일의 위치와 사이즈의 변화를 통해 부공진의 억제가 가능함을 예상할 수 있다.

2.3 실험계획법을 이용한 디자인 변수 추출

광픽업 액추에이터는 기본적으로 정적인 감도와 동적인 감도가 우수해야 한다. 앞 장의 Fig. 6 에서 보면 트래킹 코일의 위치에 따라 감도가 변하는 것을 알 수 있다. 이는 트래킹 코일이 자석의 내부로 이동함에 따라 유효 자속밀도가 커져 트래킹 힘이 증가하기 때문이다. 그러나, 그 경향이 요잉모드와 일치하지 않기 때문에 두 가지 목적을 동시에 만족시키는 조건을 찾기가 쉽지 않다. 이러한 연성관계 때문에 트래킹 코일의 최적화는 기존의 최적화 방법으로는 해결하기가 어렵다. 따라서, 본 장에서는 실험계획법을 활용하여 경향을 분석하고 최적화를 위한 세부 구간 및 디자인 변수를 추출하려 한다. 일반적으로 실험계획법은 초기위치에서의 동특성만 고려될 수 있다. 하지만, 액추에이터는 이동시의 특성도 중요하다. 따라서, 이를 고려하기 위해 이동특성을 노이즈 요인(noise factor)에 적용한 실험계획법을 수행한다. 목적 변수로 요잉모드의 억제와 고감도의 획득을 선정하고, 포커싱의 동특성에 변화를 주지 않고 트래킹 코일을 최적화하기 위해 디자인 변수로는

Fig. 9 와 같이 3 개의 변수를 잡는다. 노이즈 요인은 포커싱방향으로 이동에 관하여 3 수준, 트래킹 방향으로 이동에 관하여 3 수준으로 정한다. 따라서, Table2 와 같이 내부 배열은 $L_9(3^3)$, 외부 배열은 $L_9(3^2)$ 배열표를 구성하고 트래킹 감도와 요잉방향으로의 모멘트에 대해서 각각 81 번의 실험을 수행하며 요잉방향의 모멘트는 절대값을 취하여 계산하였다. 각각의 실험은 유한요소해석틀로 수행되고 이를 바탕으로 평균분석(ANOM)방법에 따라 각 변수의 결과를 나타낸다. Fig. 10 은 트래킹 감도에 관한 평균분석 그래프이다. 트래킹 감도에 가장 크게 영향을 미치는 변수는 2 번째 변수인 것을 알 수 있다. Fig. 11 은 트래킹 감도에 대한 Larger The Better 로 연산한 S/N 비다. 전체적으로 감도가 높은 수준에서 S/N 비도 높아 디자인 변수로 추출하는데 문제가 없다. Fig. 12 은 요잉모드 억제에 관한 평균분석 그래프이고 각 변수의 영향도를 알 수 있다. Fig. 13 은 Smaller The Better 로 계산한 S/N 비이다.

2.4 반응표면법을 이용한 최적화

최적의 치수를 얻기 위한 방법으로 많은 경우 반응표면법이 사용된다. 반응표면법은 국부적인 설계영역의 목적함수를 근사화 하기 위한 방법으로 실험계획을 통한 실험점을 채택하여 통계적인 분석방법으로 근사식을 구성한다[10]. 실험계획의 방법은 근사식의 정확도를 높이고, 실험 횟수를 줄이기 위한 많은 방법들이 연구되었으며, 설계 변수가 적은 문제에서는 곡면의 특성을 잘 반영할 수 있는 중심합성계획을 사용한다[11,12].

두가지 목적변수를 가지고 있기 때문에 최적 값을 찾기가 쉽지않다. 따라서, 아래의 식과 같이 하나의 목적변수로 합한다. 질량의 변화를 고려하며 트래킹 감도는 가장 크게, 요잉모드는 가장 작게 해야 하기 때문에 식의 값이 가장 크게 되는 값을 구한다.

$$\text{Maximise } \frac{\text{Tracking sensitivity (N/V)}}{\text{Mass(kg)} \times \text{Yawing moment(N * m)}}$$

또한, 실험계획법을 바탕으로 감도가 우수한 부분에 대해 세부구간을 잡아 최적화 한다. Table 3 은 직교배열법으로 도출한 3 개의 설계변수를 중심합성계획법으로 구성한 배열표이다. 이러한 배열표의 결과는 유한요소해석 틀로 구하고 그에 맞는 목적 함수식을 구성한다. 대체로 목적함수의 형태가 선형적인 특성에 가까울 경우 1 차 다항식

으로 표현하며 비선형적인 특성을 표현하고자 할 때는 2 차 다항식을 사용하는 것이 일반적이다 [13]. 여기에선 상용 통계 프로그램인 SAS 를 이용하여, 교호항과 4 차항을 추가하여 정확성과 신뢰성을 높였다. 결과적으로 신뢰도가 높은 항을 추출하여 최종적으로 다음과 같은 목적함수 식을 구성하였다.

$$\begin{aligned} f = & 956913 - 61883a^4 + 322105b^4 - 90269c^4 \\ & + 406474a^3 * b^3 * c^2 - 911190a^3 * b^2 * c^3 \\ & - 394012a^2 * b^3 * c^3 - 397193a^3 * b^3 * c \\ & + 806612a^3 * b^2 * c^2 + 847685a^2 * b^3 * c^2 \\ & - 812082a^2 * b^2 * c^3 - 7312.29178a^3 \\ & - 454837b^3 - 5221.62936c^3 - 59021a^2 \end{aligned}$$

본식의 R-square 값은 0.99 로 신뢰할 수 있는 근사식이 된다. 이러한 목적 함수식을 유전자 알고리즘에 적용하여 극대값을 산출해내는 인자들을 구한다. 결국 주어진 범위 내에서 변수 1 은 1 수준, 변수 2 는 1 수준, 변수는 -1 수준일 때가 목적함수를 가장 크게 하는 수준이다.

2.5 최적화를 통한 동특성의 개선

Fig. 14 에는 트래킹 코일의 개선 전후의 변화를 동특성 그래프를 통해 나타내었다. 개선후가 트래킹 감도, 요잉, 위상 측면에서 동특성이 우수함을 알 수 있다. 또한 수치상으로도 트래킹 감도는 7% 증가되었고, 요잉 모멘트는 기존 모델보다 98% 감소되었다.

3. 결론

실제 콤보 드라이브의 광픽업 액추에이터의 해석모델을 정립하고 연성해석을 사용하여 문제가 될 수 있는 요잉모드의 발생과 트래킹 코일의 관계를 해석적으로 분석하였다. 이를 바탕으로, 요잉모드의 억제와 트래킹 감도의 향상을 목적으로 이동특성을 고려한 실험계획법을 수행하였고, 추출된 디자인 변수를 바탕으로 반응표면법을 사용하여 트래킹 코일을 최적화했다. 이를 통해, 비대칭형 광픽업 액추에이터의 트래킹코일 설계의 프로세스를 정립하였다.

후 기

본 연구는 삼성전자의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Bernard W. Bell Jr., 2001, "DataPlay's Mobile Recording Technology", ODS Topical Meeting 2001.
- (2) 박재훈 등, 1999, "Optical Pick-Up Model Development for Vibration Analysis", 추계학술대회는문집, 한국소음진동공학회, pp. 256~261.
- (3) 임경화 등, 1995, "고밀도 기록용 광픽업의 Actuator 동특성", 춘계학술대회는문집, 한국소음진동공학회, pp. 258~263.
- (4) Nobuo Takeshita et al., 1995, "Dynamic Characteristics of Lens Actuator for Digital Video Disk", SPIE, Vol. 2514, pp. 159~166.
- (5) Junichi Ichihara et al., 1992, "Development of Actuators for Small-Size Magneto-Optical Disk Drives", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 21, pp. 519~523.
- (6) Makato Nagasato et al., 1996, "Development of Two-Axis Actuator with Small Tilt Angles for One-Piece Optical Heads", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 35, pp. 392~397.
- (7) Kyihwan Park et al., 1999, "Flux Leakage Effect on Subsidiary Resonance of Optical Disk Drives", IEEE TRANSACTIONS, Vol. 35, NO. 5, pp. 3676~3678.
- (8) Sam-Nyol Hong et al., 2000, "A Study on Force Characteristics of Rewritable Slim Pickup Actuator to Improve Actuating Performance", Japan Journal of Applied Physics, Vol. 40, pp. 1771~1774.
- (9) 신창훈 등, 2002, "연성해석을 이용한 광픽업 구동기 경사해석", 추계학술대회는문집, 한국소음진동공학회.
- (10) Raymond H. Myers and Douglas C. Montgomery, 1995, "Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments", Wiley.
- (11) Kyung-Jin Hong et al., 2000, "A study on the construction of Response surface for Design Optimization", KSME Journal Vol. 24 No. 6, pp. 1408~1418.
- (12) 박성현, 1995, 현대실험계획법, 민영사.
- (13) 소현준 등, 2003, "반응표면법을 이용한 슬레노이드형 자기액추에이터의 치수 최적화 설계", 춘계기계학회.

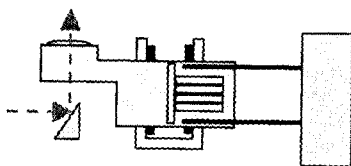


Fig. 1 비대칭형 액추에이터 구조

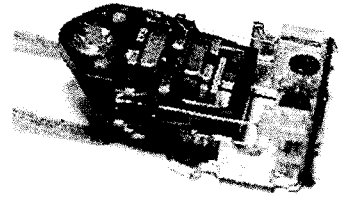


Fig. 2 콤보 드라이브용 광픽업 액추에이터

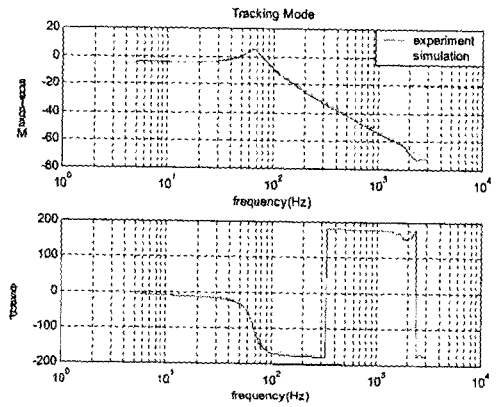


Fig. 3 트래킹 방향의 주파수 응답특성

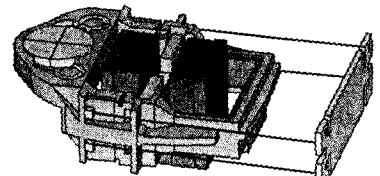


Fig. 4 튜닝된 해석 모델

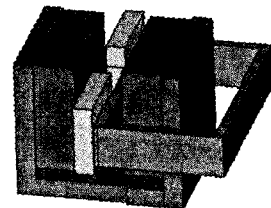


Fig. 5 자기부 모델

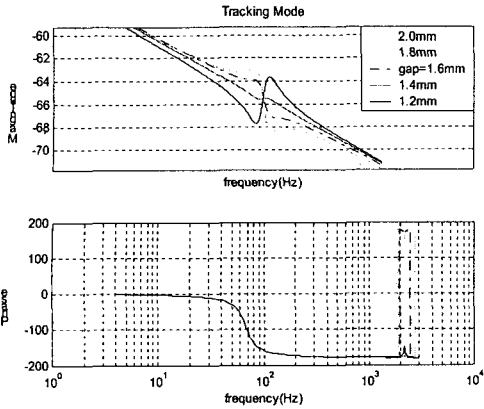


Fig. 6 트래킹 코일의 위치변화에 따른 동특성변화

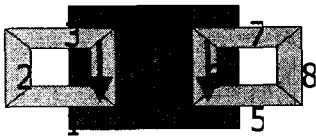


Fig. 7 전류의 방향과 volume 번호

토크(mN*mm)

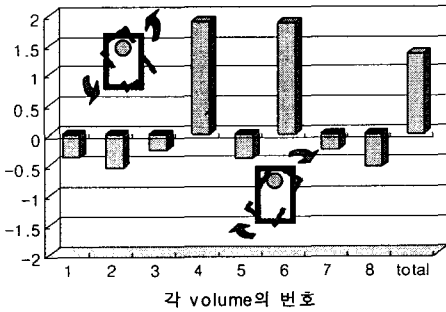


Fig. 8 각 volume 의 토크성분

Table 1 트래킹 코일의 위치변화에 따른 모멘트변화

코일간의 gap(mm)	+ M (mN*mm)	- M (mN*mm)	total M (mN*mm)
2	2.6914	-0.5826	2.1088
1.8	2.8195	-1.465	1.3545
1.6	2.8609	-2.249	0.6619
1.4	2.8155	-3.0636	-0.2481
1.2	2.6785	-3.7712	-1.0927

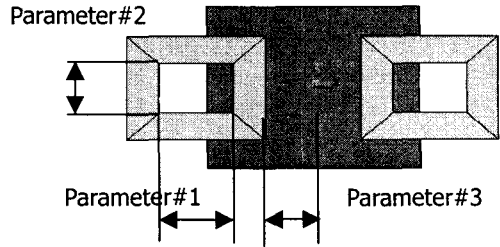


Fig. 9 디자인 변수의 선정

Table 2 직교배열표

Control factor	Noise											
	Noise 1			Noise 2			Noise 3					
Ex	Par 1	Par 2	Par 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5	2	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
6	2	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2
7	3	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3
8	3	2	1	3	2	1	1	2	3	1	2	3
9	3	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3

Experiment data 9x9

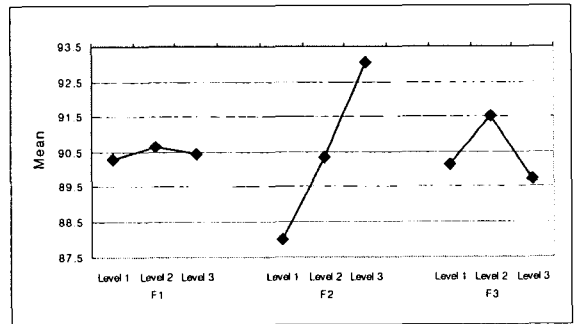


Fig. 10 평균분석그래프(트래킹 감도)

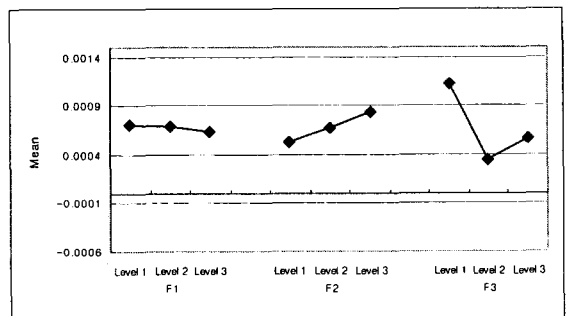


Fig. 11 S/N ratio(트래킹 감도)

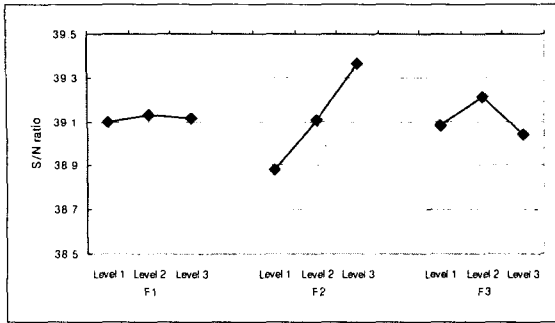


Fig. 12 평균분석그래프(요잉방향의 모멘트)

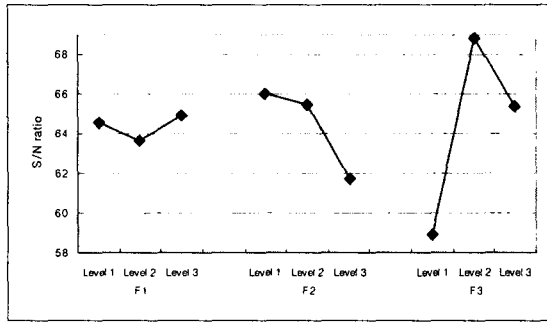


Fig. 13 S/N ratio (요잉방향의 모멘트)

Table 3 중심합성계획법

Experiment	Par 1		Par 2		Par 3	
	level	dim	level	dim	level	dim
1	-1	1.3	-1	1.1	-1	0.5
2	-1	1.3	-1	1.1	1	0.7
3	-1	1.3	1	1.2	-1	0.5
4	-1	1.3	1	1.2	1	0.7
5	1	1.5	-1	1.1	-1	0.5
6	1	1.5	-1	1.1	1	0.7
7	1	1.5	1	1.2	-1	0.5
8	1	1.5	1	1.2	1	0.7
9	-k	1.23	0	1.15	0	0.6
10	k	1.57	0	1.15	0	0.6
11	0	1.4	-k	1.31	0	0.6
12	0	1.4	k	1.24	0	0.6
13	0	1.4	0	1.15	-k	0.43
14	0	1.4	0	1.15	k	0.77
15	0	1.4	0	1.15	0	0.6

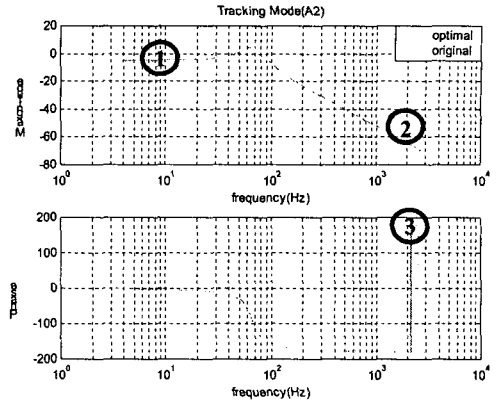


Fig. 14 개선전과 개선후의 비교

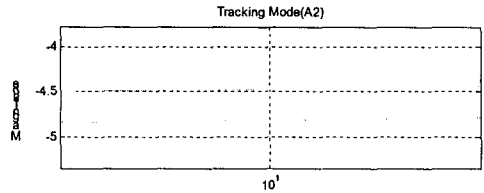


Fig. 14.1 트래킹 감도변화

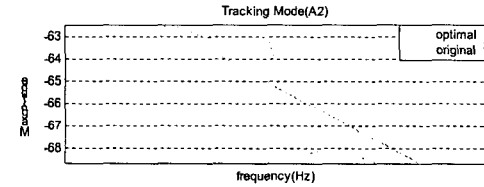


Fig. 14.2 요잉 모멘트의 변화

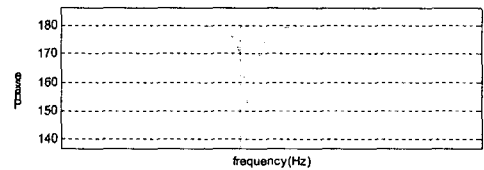


Fig. 14.3 위상의 변화