

The background image is a close-up photograph of a shaft linear motor. It shows a central shaft with a circular feature, surrounded by a complex metal housing with various slots and mounting points. A semi-transparent red bar with rounded ends is positioned horizontally across the middle of the image, serving as a background for the title text.

Shaft Linear Motor 案内

ghe

목 차 – About Shaft Linear Motor

- ☑ 리니어 모터의 종류
- ☑ 이론 및 구조
- ☑ 특 성
- ☑ 정 리

리니어 모터의 종류(1)

- ☑ Linear Induction Motor (LIM)

 - 서보로써의 성능이 낮다.

- ☑ Linear Step Motor (LPM)

 - 정밀 위치제어가 어렵다.

- ☑ Linear DC Motor (LDM) --- Voice Coil Motor

 - 긴 이동거리의 구현이 어렵다.

- ☑ Linear Synchronous Motor (LSM)

리니어 모터의 종류(2)

☑ Linear Synchronous Motor (LSM)

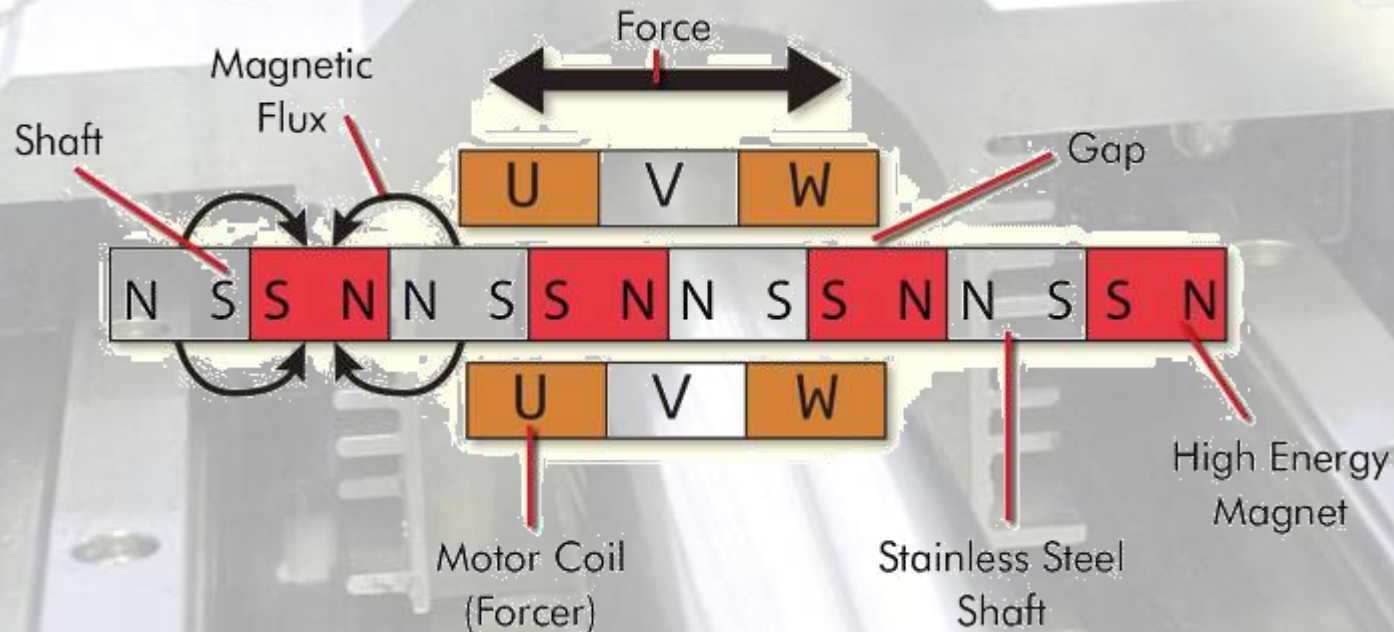
- Flat Type(평판형)

 - *코어형 *코어리스형

- Cylindrical type(원통형)

 - *코어형 *코어리스형 (Linear Shaft Motor)

이 론(1) – 전기적 원리



Motor Coil
(Forcer)

Stainless Steel
Shaft

자속

추력

플레밍의 법칙

전류

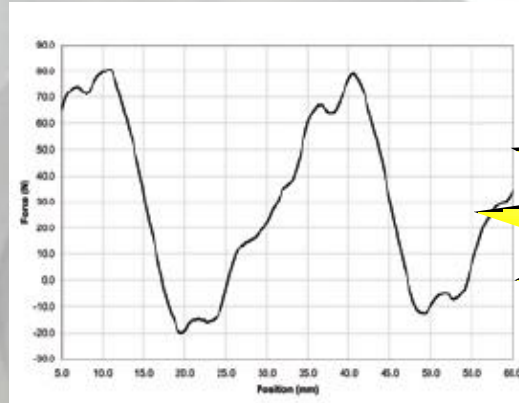
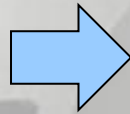
GHC

이 론(2) – 디자인 컨셉

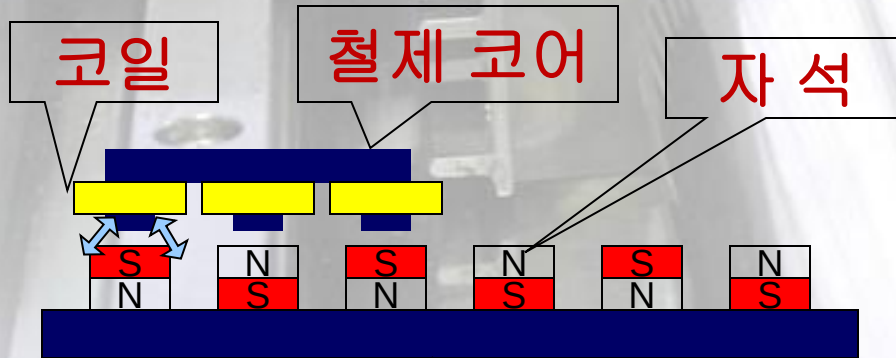
- 코어리스 설계.
- 코킹이 없음.
- 단순 조립 및 강인한 구조
 - 에어갭 변화에 따른 추력 변화가 없으므로, 단순 조립이 가능하며 이로 인해 간단한 기계구조가 가능하여 기구 강성이 증대됨.

이 론(3) – 코깅(Cogging)

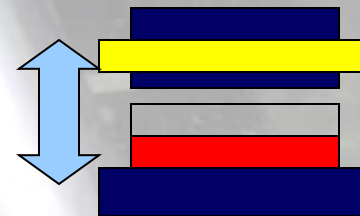
코어형
리니어 모터



코깅 발생



흡인력 발생



자기장의 밀도 차 및
흡인력 차이에 의한
코깅 발생

고정판(철제)

이 론(4) – 코깅(Cogging)

코깅(Cogging) 해결 방안



근본적
해결 불가

1.코깅 저감 기능이 내장된 제어기 또는 서보 앰프의 적용

➡ 고가의 특수 앰프 사용으로 인한 단가 상승

2.영구 자석을 한 쪽 방향으로 기울여 사용

➡ 기울인 각도에 비례해 추력의 저하 발생

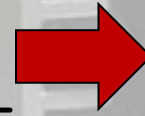
3.영구 자석을 촘촘히 배열하여 간격을 줄임

➡ 영구 자석 등 재료비 증가로 인한 단가 상승

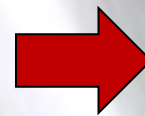
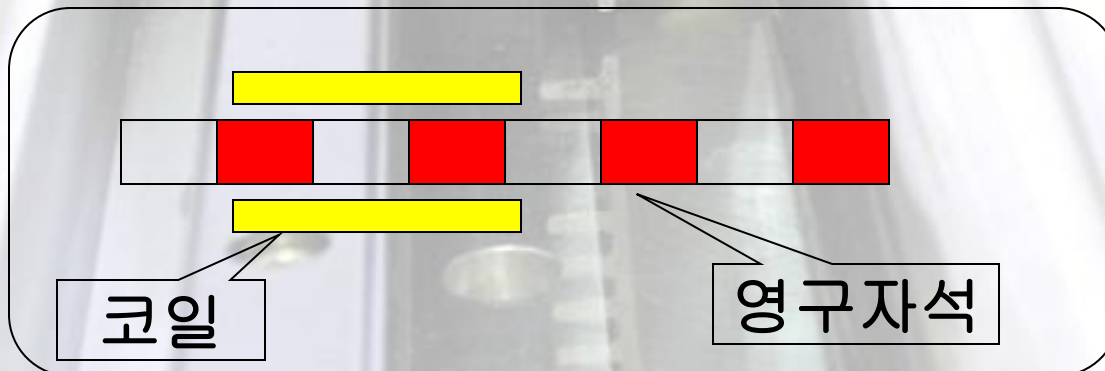
이 론(5) – 코깅(Cogging)

코어리스 샤프트 리니어 모터

1. 샤프트 내에 영구 자석의 연속적 배치
2. 영구자석과 자기장의 간섭을 일으키는 철제 부품의 미사용



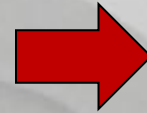
**NO-
Cogging**



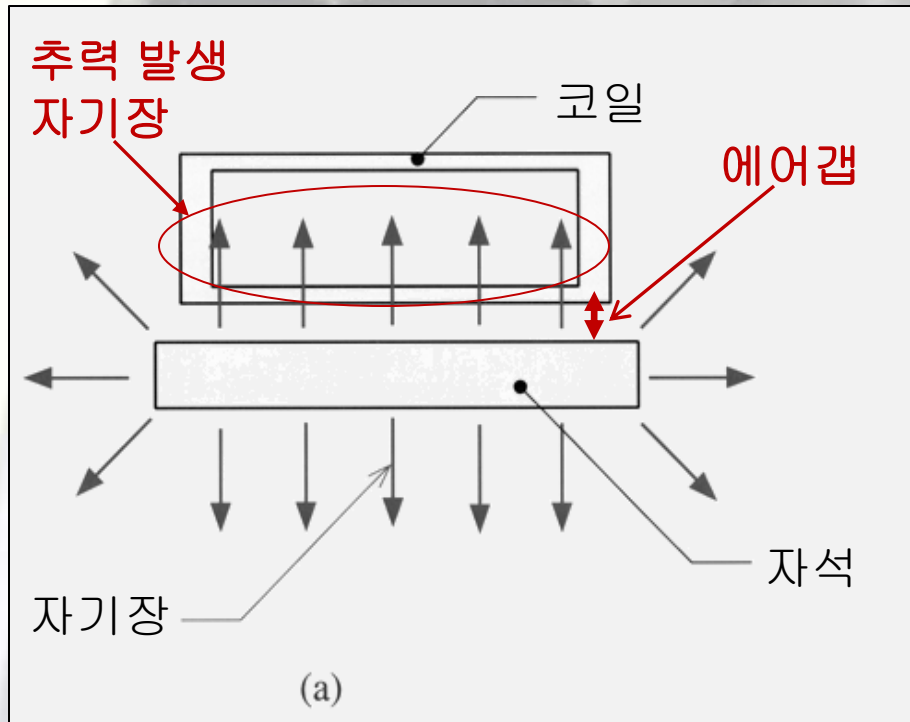
**고가의 제어기
및 서보앰프없이
최적의 성능 구현**

이 론(6) – 에어갭(Air-gap)

코어형 리니어 모터



**정확한
에어갭 필요**



1. 코일에 공급되는 자기장은 영구자석의 1사면에서만 공급되는 구조를 가짐.
2. 에어갭은 코일에 공급되는 자기장의 크기(리니어 모터의 추력)를 결정하는 매우 중요한 부분이다.

이 론(7) – 에어갭(Air-gap)

에어갭의 조정이 어려운 이유

완벽한
에어갭 조정
불가능

1. 영구자석 및 고정부의 기계적 부품 정도

➡ 고정밀, 고정도의 기계 부품 요구로 인한 단가 상승

2. 영구자석과 코일부의 기계적 조립 정도

➡ 조립이 어려움에 따라, Lead-Time 증가로 인한 생산원가 상승

3. 가동 시 발열 등에 의한 기구적 변형

➡ 발열 감소를 위해 방열판 부착 및 성능의 다운이 요구.

이 론(8) – 에어갭(Air-gap)

코어형 리니어 모터

1. 평행도가 변화하는 경우



2. 평행도 및 기울기가 변화하는 경우



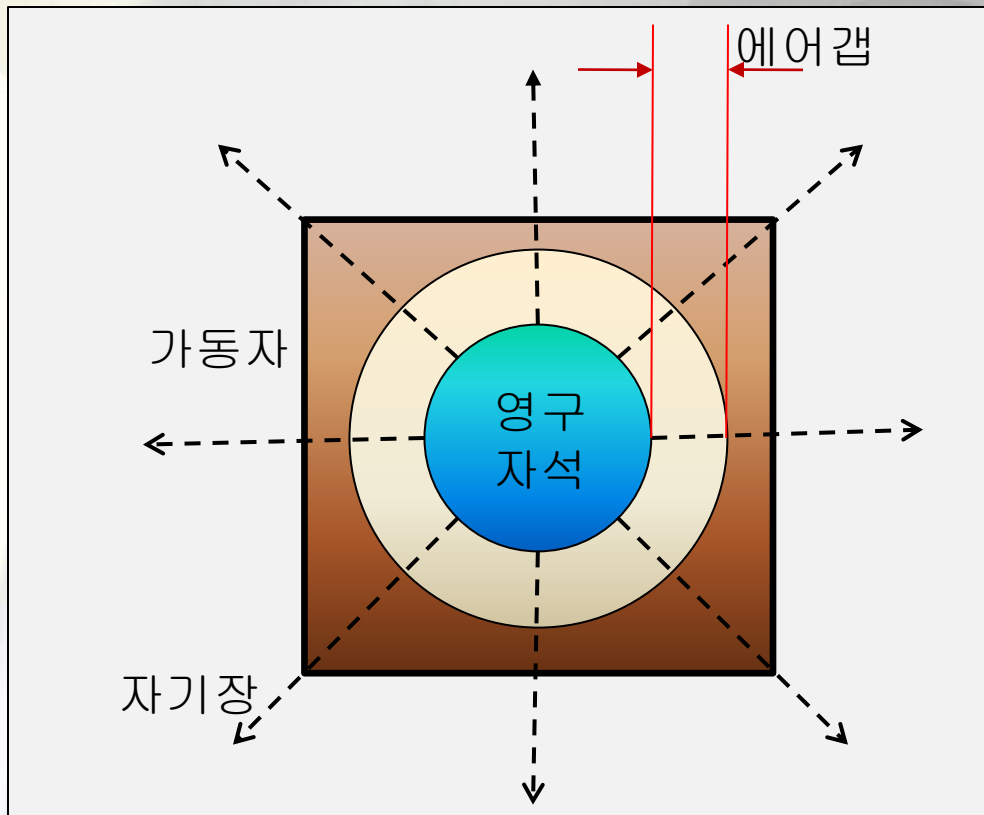
코깅
발생

소음
발생

이 론(9) – 에어갭(Air-gap)

코어리스 샤프트 리니어 모터

**정확한
에어갭 불필요**



샤프트 리니어 모터 단면도

1. 코일에 공급되는 자기장은 360° 모든 방향에서 공급되는 구조를 가짐.
2. 에어갭의 변화에 의해 생기는 자기장의 변화는 반대쪽에서 상쇄되는 구조를 가짐.
3. 표준형 모델에서 **0.5~1.75mm**의 에어갭을 가짐
(2.5mm 이상 모델 개발중)

이 론(10) – 에어갭(Air-gap)

코어리스 샤프트 리니어 모터

1. 평행도가 변화하는 경우



2. 평행도 및 기울기가 변화하는 경우



코깅
미발생

소음
미발생

이 론(11) – 리니어모터 비교표

리니어 모 터 타 입	코어형 평판 리니어 모 터	코어리스 평판 리니어 모 터	코어리스 샤프트 리니어 모 터
출 력	매우 높음	낮 음	높 음
강 성	높 음	낮 음	높 음
흡 인 력	매우 높음	없 음	없 음
흡 인 력 조치 내역	조립에 많은 공간이 필요	영향 없음	영향 없음
코 킹	크 다	없 음	없 음

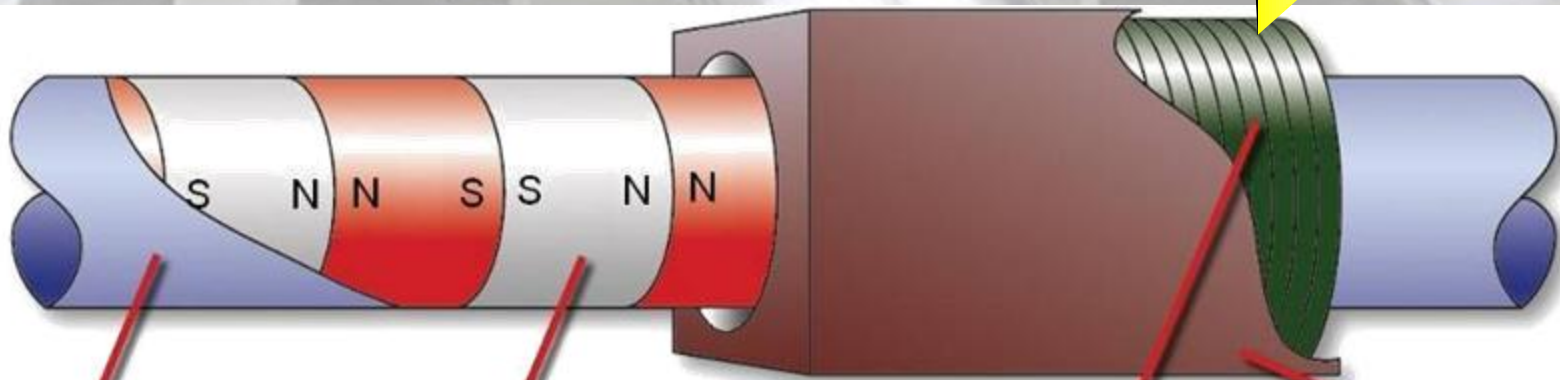
구조(1) - 볼스크류와 유사한 구조

기구적 디자인 컨셉 : 심플

볼 스크류와 유사한 구조

기구부 설계변경 최소화

**EASY
CHANGE**



샤프트

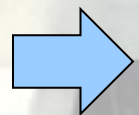
영구자석

코일

가동자

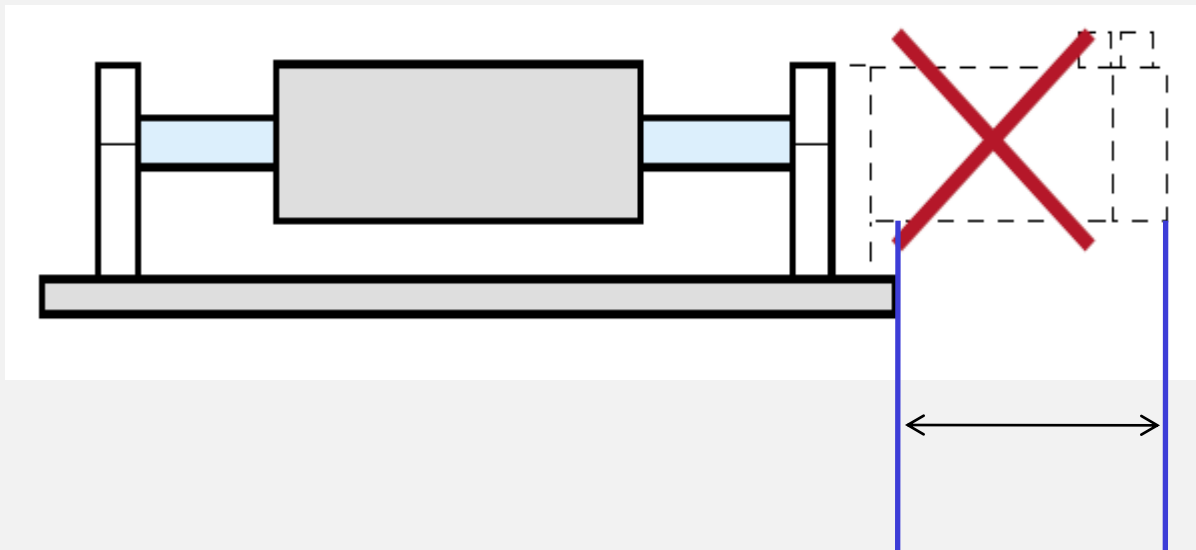
구 조(1) – 볼스크류와 유사한 구조

기구적 디자인 컨셉 : 슬림



최근 슬림,소형화 장비가 대세

슬림,소형
장비의 구현

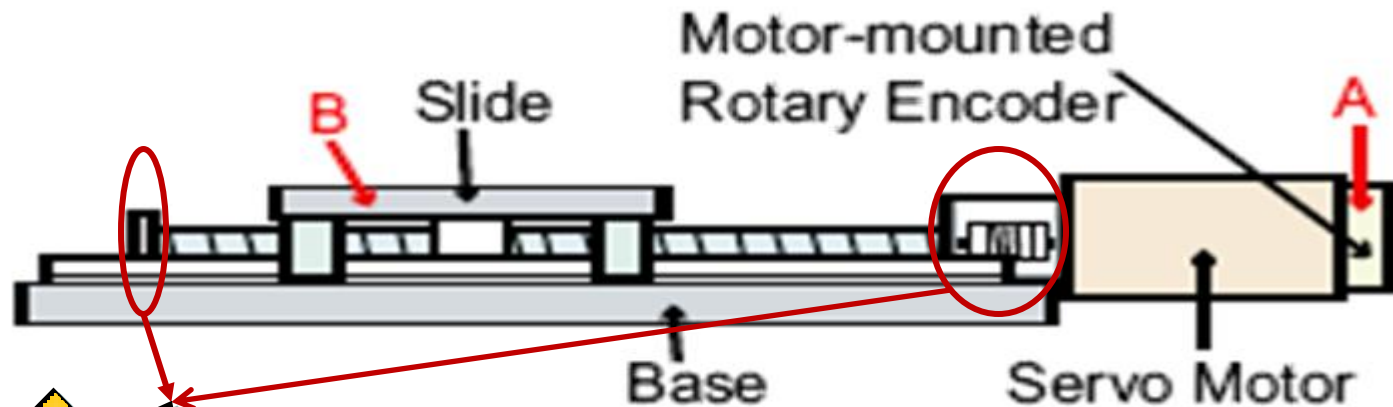


장비 길이 단축

구조(1) - 볼스크류와 유사한 구조

기구적 디자인 컨셉 : Easy

조립시간 증가
생산원가 상승



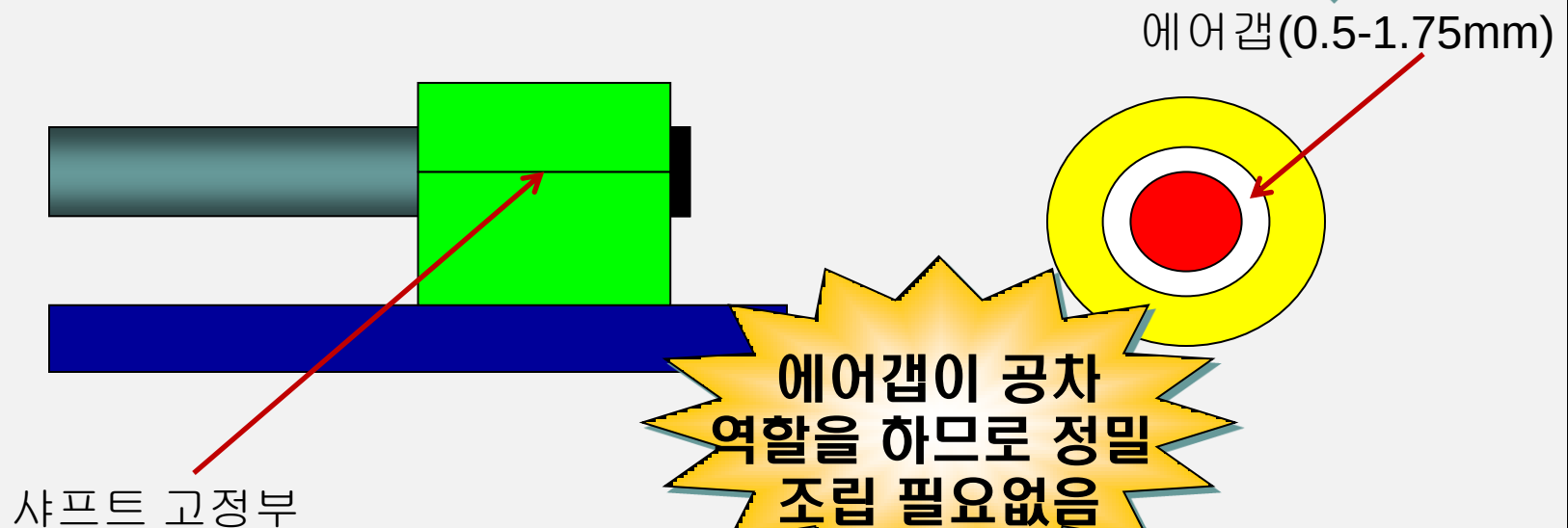
동심도, 평행도
조립에 많은 공수를
필요로 함.

일반적인 볼스크류 구동 장치

구조(1) - 볼스크류와 유사한 구조

기구적 디자인 컨셉 : Easy

조립시간 단축
생산원가 감소

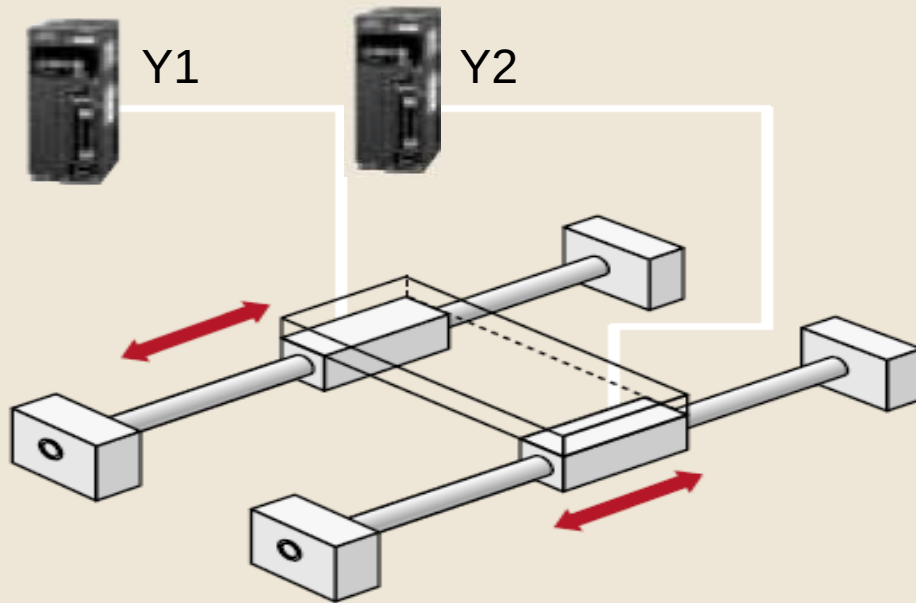


일반적인 리니어 샤프트 모터 구동 장치

구조(2) – 1개의 AMP로 2축 동기 구동

일반적인 2축 동기 구동 시스템
(볼스크류, 평판형 리니어모터)

**원가 상승
시스템 복잡화**



*2개의 서보앰프와 리니어 스케일이 필요.

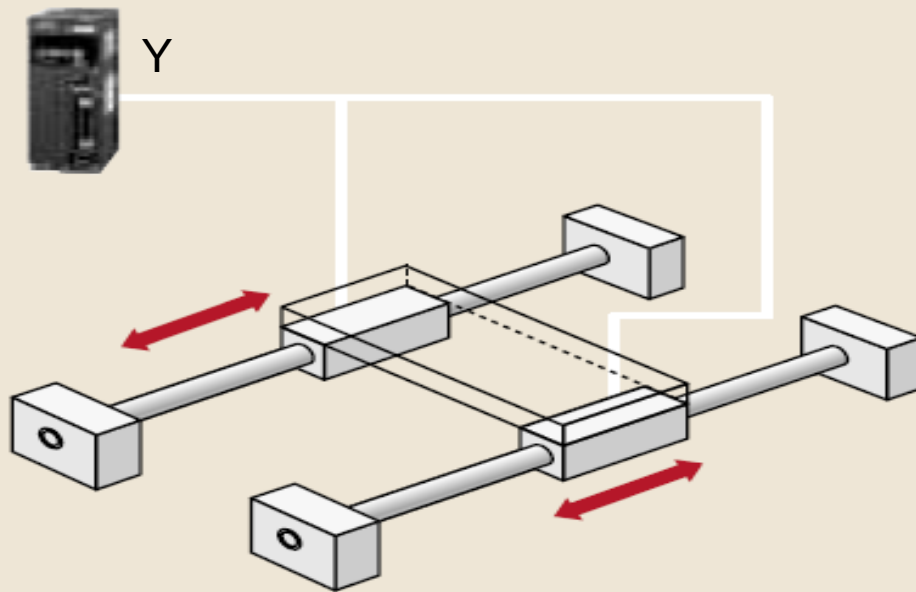
*Skew Check 및 동기구동을 위한 고가의 제어기 및 제어 알고리즘이 필요.

*PMAC, MEI와 같은 고가의 모션전용 제어기를 주로 사용하고 있음.

구조(2) – 1개의 AMP로 2축 동기 구동

샤프트 리니어 2축 동기 구동 시스템

**원가 절감
시스템 단순화**



*1개의 서보앰프와 리니어 스케일이 제거.

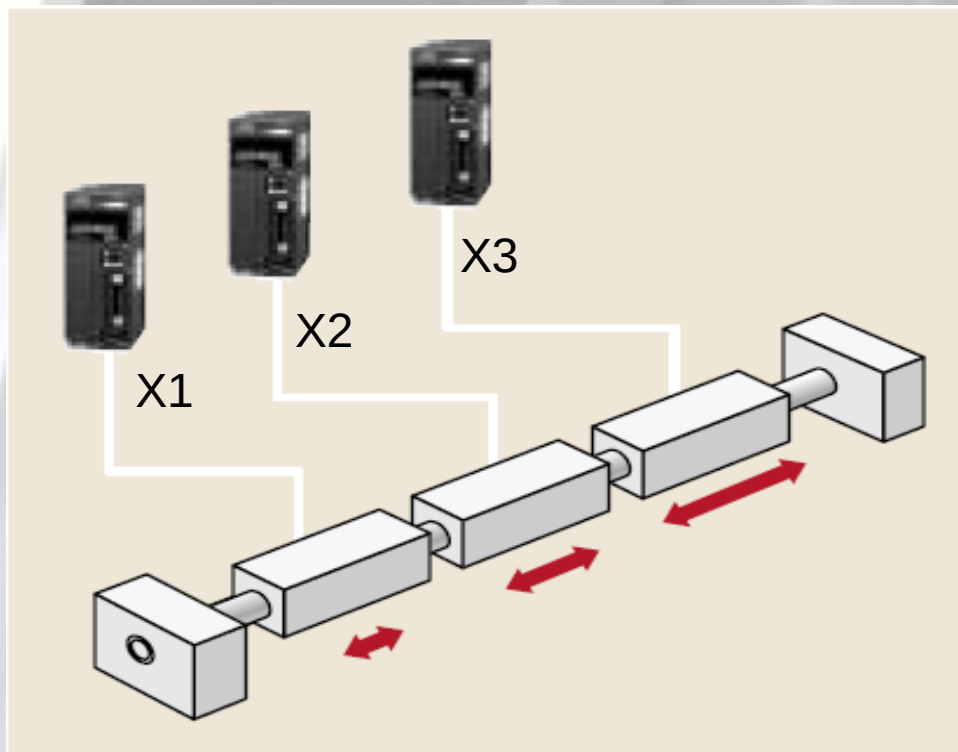
*Skew Check 및 동기구동을 위한 고가의 제어기 및 제어 알고리즘이 필요없음.

*저가의 펄스발생기의 위치 제어기로도 구현이 가능함.

구조(3) – 1개의 샤프트에 다축 구동

샤프트 리니어 다축
가동자 구동 시스템

**원가 절감
시스템 단순화**



*볼스크류 대비 공간, 원가
획기적 절감 가능

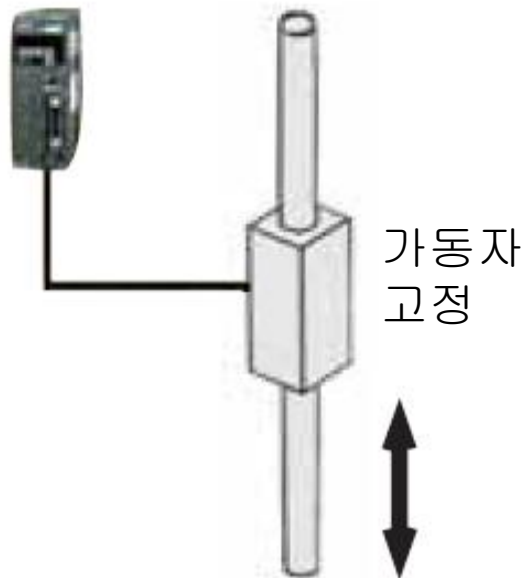
*각 가동자는 서보앰프에
의한 독립 제어 가능.

*한 개의 리니어 스케일에
멀티 헤드 장착으로 공간,
원가 절감 가능.

구 조(4) – 샤프트의 구동

샤프트 리니어 다축
가동자 구동 시스템

**긴 구동 거리,
고속 구동 가능**

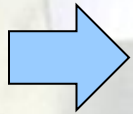


*평판형 리니어 모터에서 구현이 불가능한 샤프트의 구동 가능.

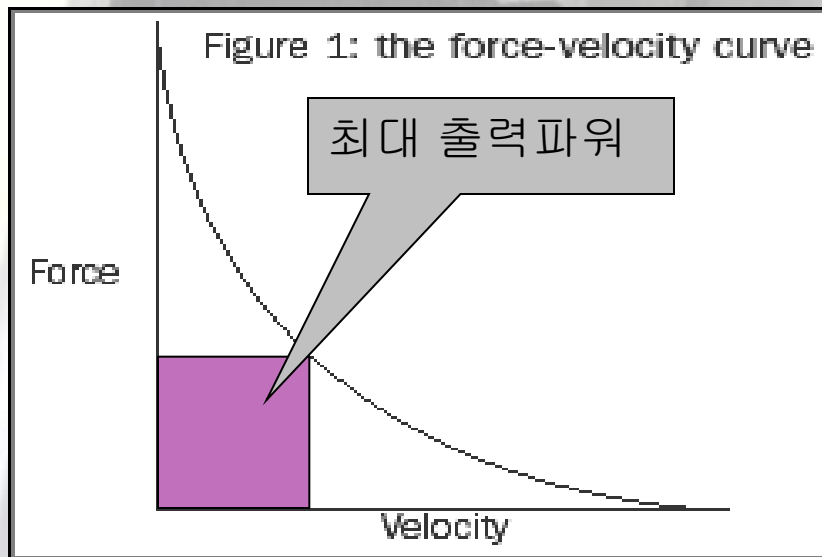
*VCM의 한계인 짧은 이동 거리의 문제 해결 가능.

*고속의 터치 시스템 등 다양한 분야의 적용 가능.

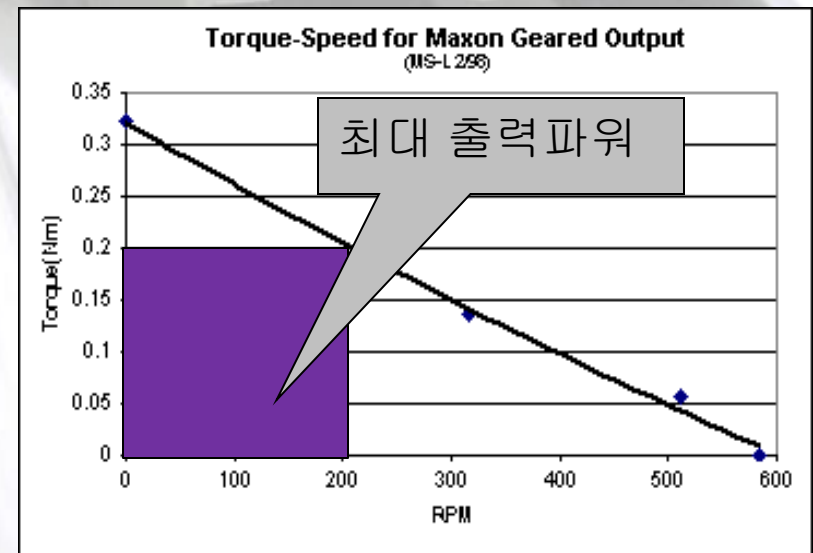
구조(5) – 최대 출력파워 특성 우수



DC Motor가 출력 특성이 뛰어남

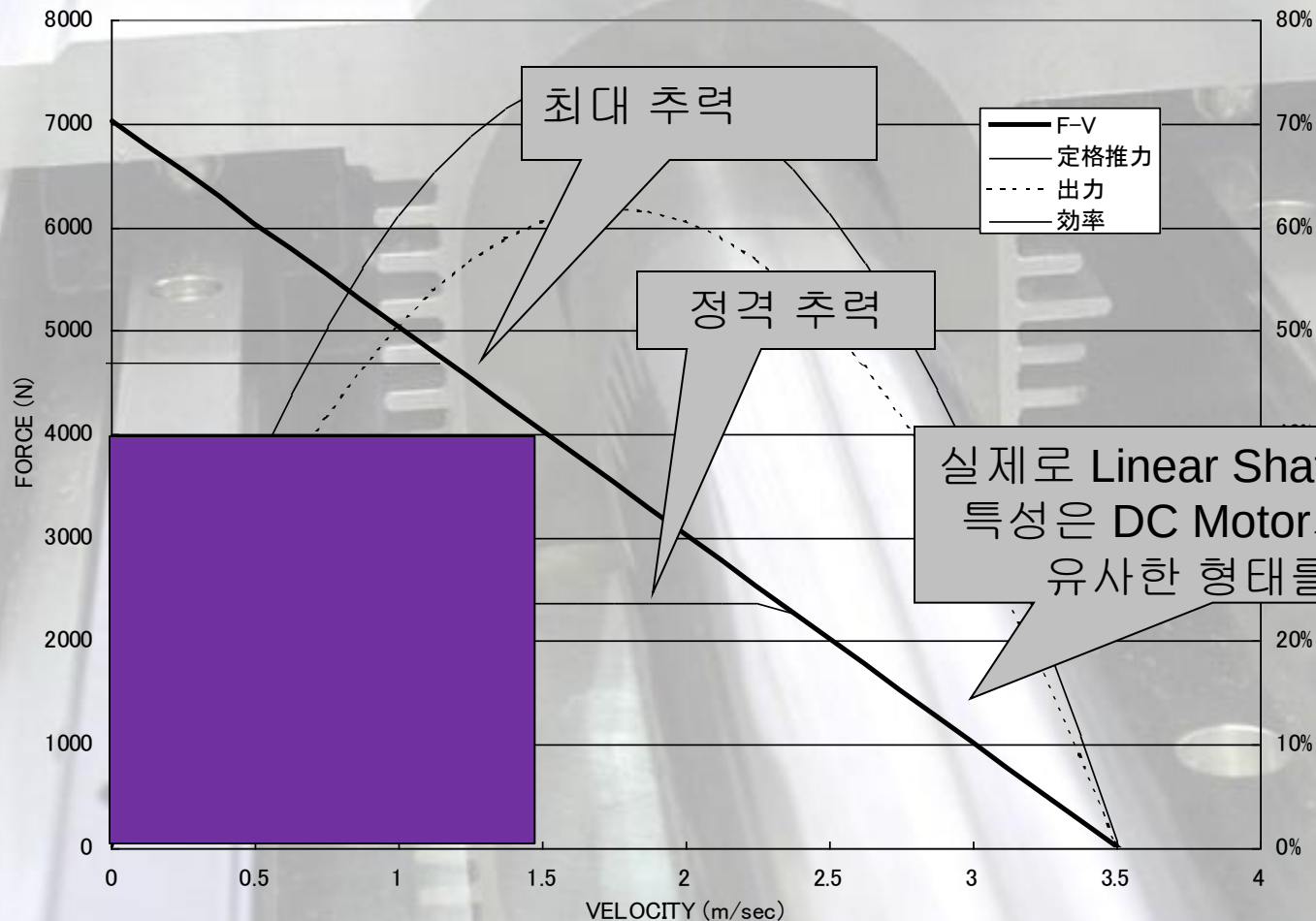


AC Motor의 추력과 속도 곡선표



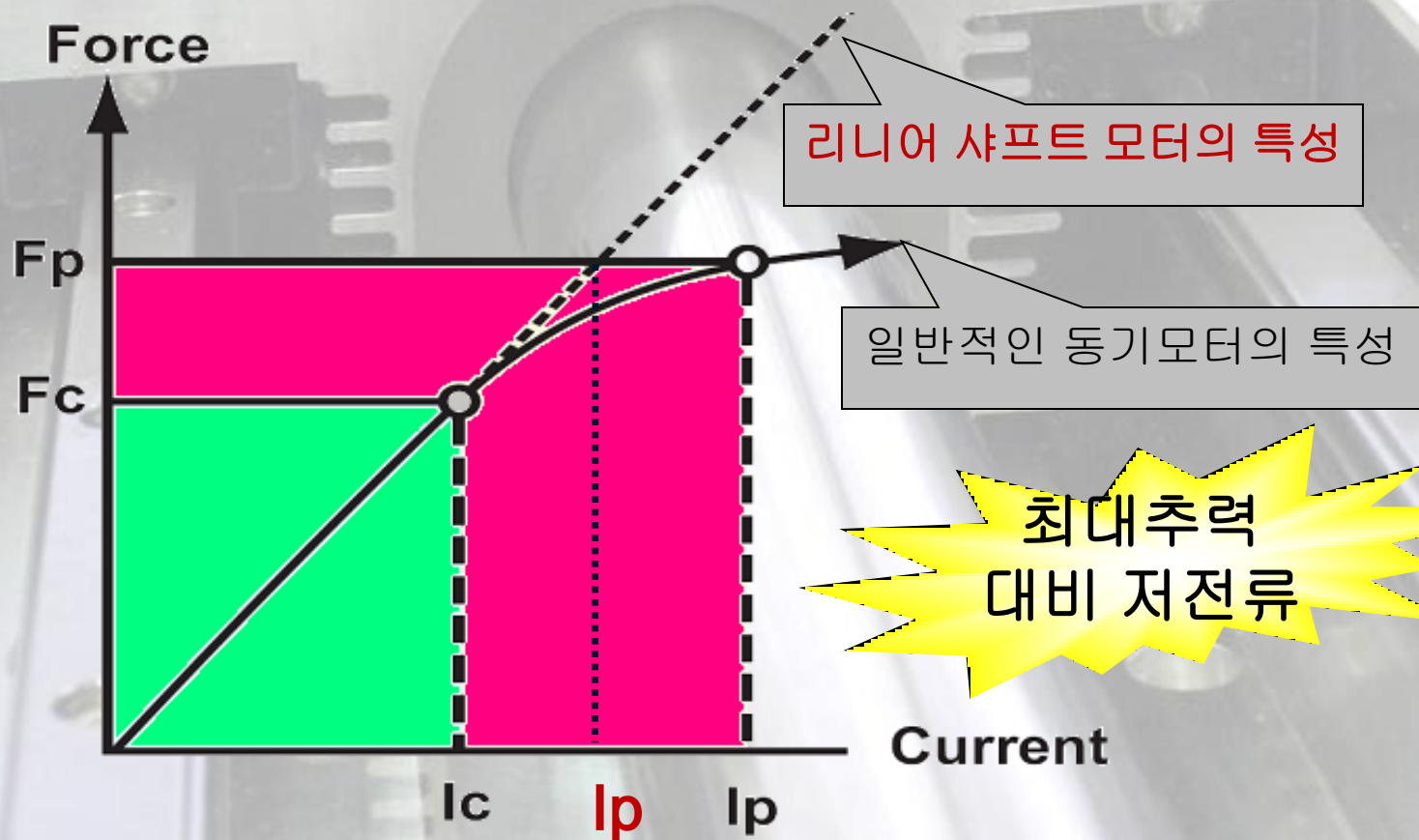
DC Motor의 추력과 속도 곡선표

구조(5) - 최대 출력파워 특성 우수

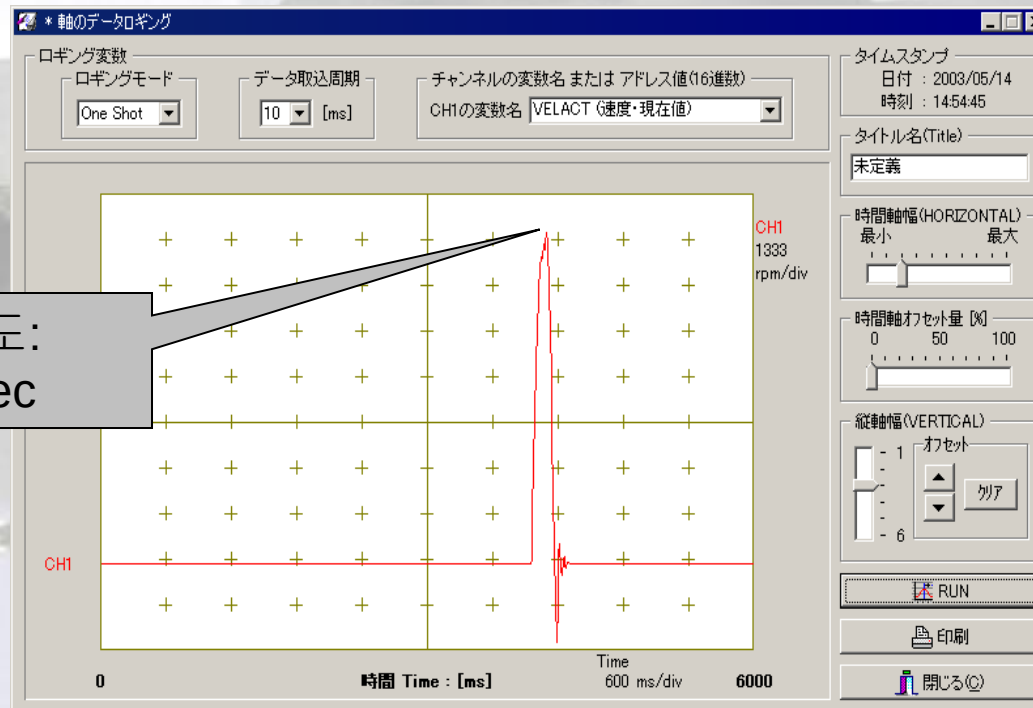


구조(6) – 우수한 전류 대비 추력 특성

동기 모터의 추력 vs. 전류 특성



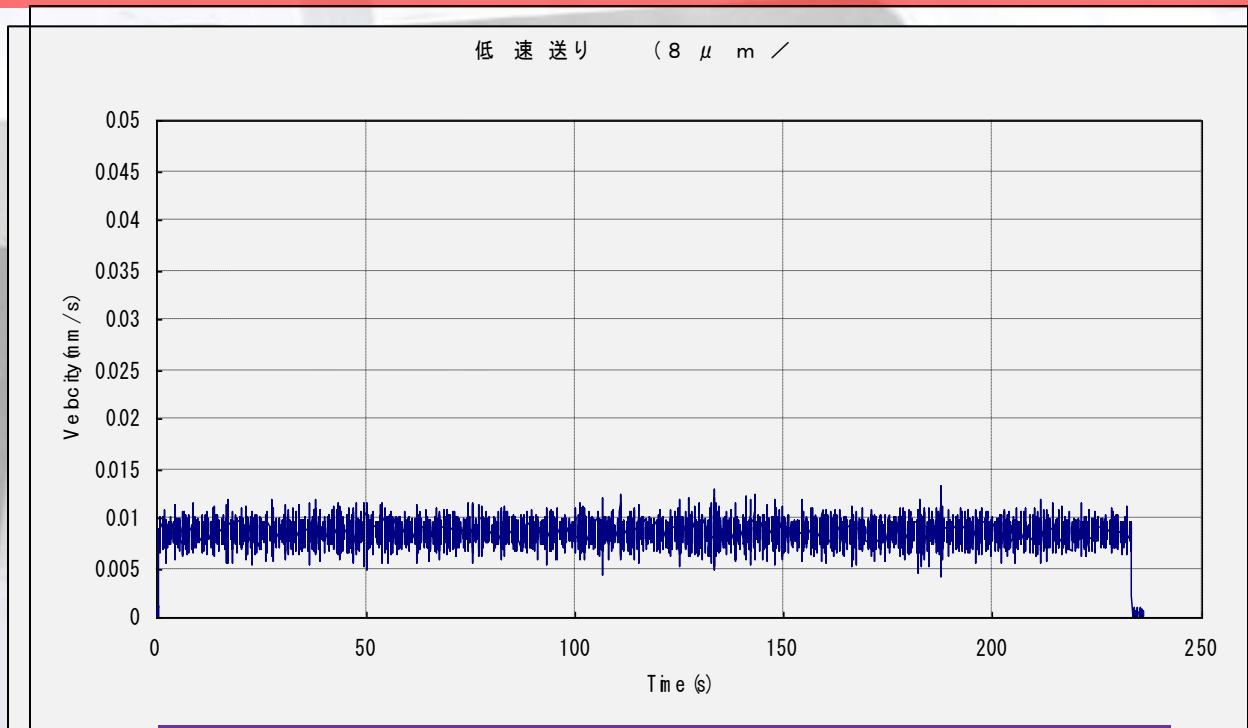
특 성(1) – 초고속 운전



최고 속도:
6.3 m/sec

모터종류 :	S435Q	엔 코 더 :	Heidenhain
최고속도 :	6.3m/sec	분 해 능 :	1 μ m
가 속 도 :	13.5G	드라이버 :	Servoland SVDM 40P
부하무게 :	20kg	가 이 드 :	LM guide
이동거리 :	800mm		

특 성(2) – 초저속 운전



속도 변동률 **1%이하** 구현 가능.

모터종류 : S160T(동기)

최고속도 : **8 μ m/sec**

부하무게 : 25kg

엔 코 더 : Heidenhain

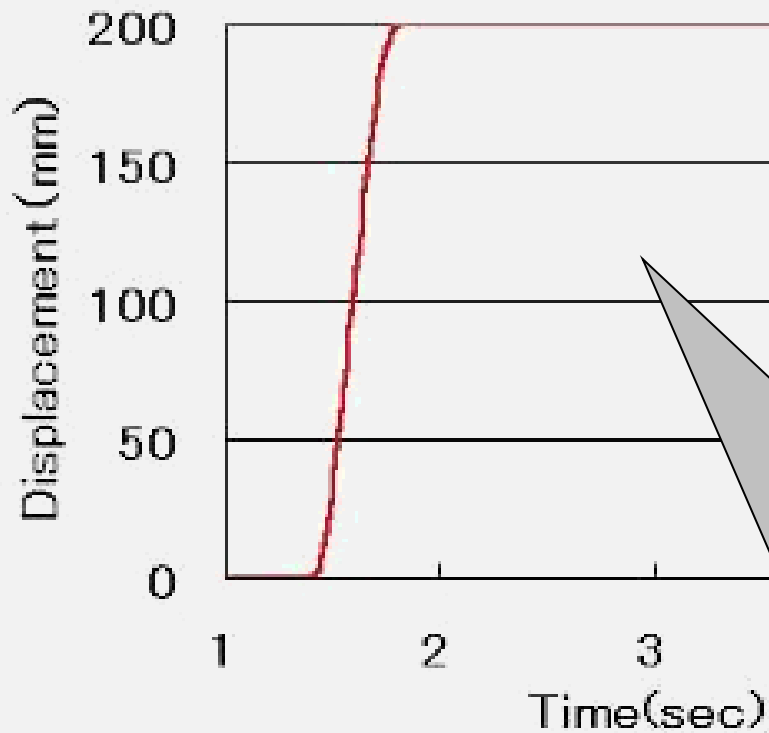
분 해 능 : 10nm

드라이버 : Delta-Tau PMAC

가 이 드 : Air-Bearing

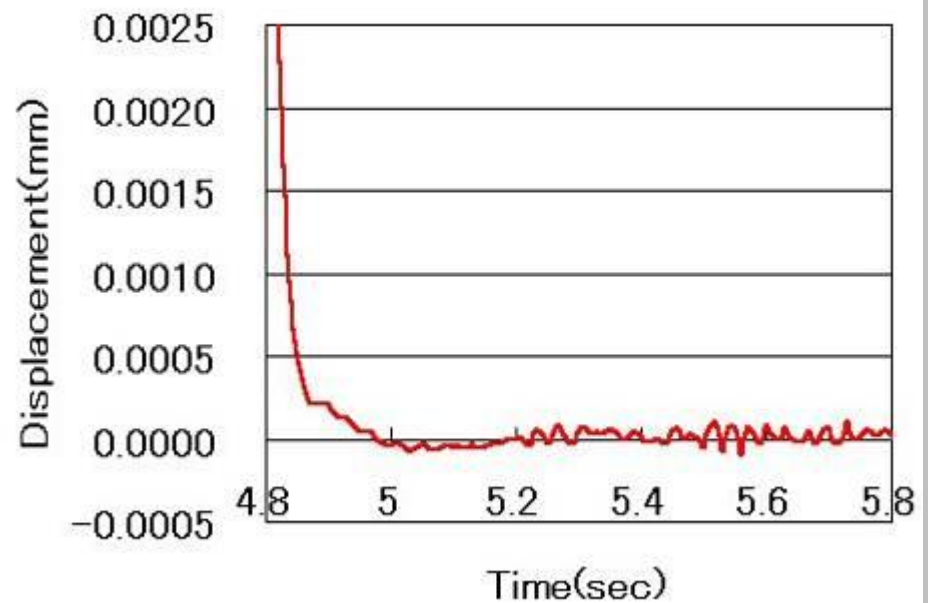
GHC

특 성(3) – 안정적인 빠른 응답성



오버슈트가 없다.

0.1 μ m의 위치결정 가능

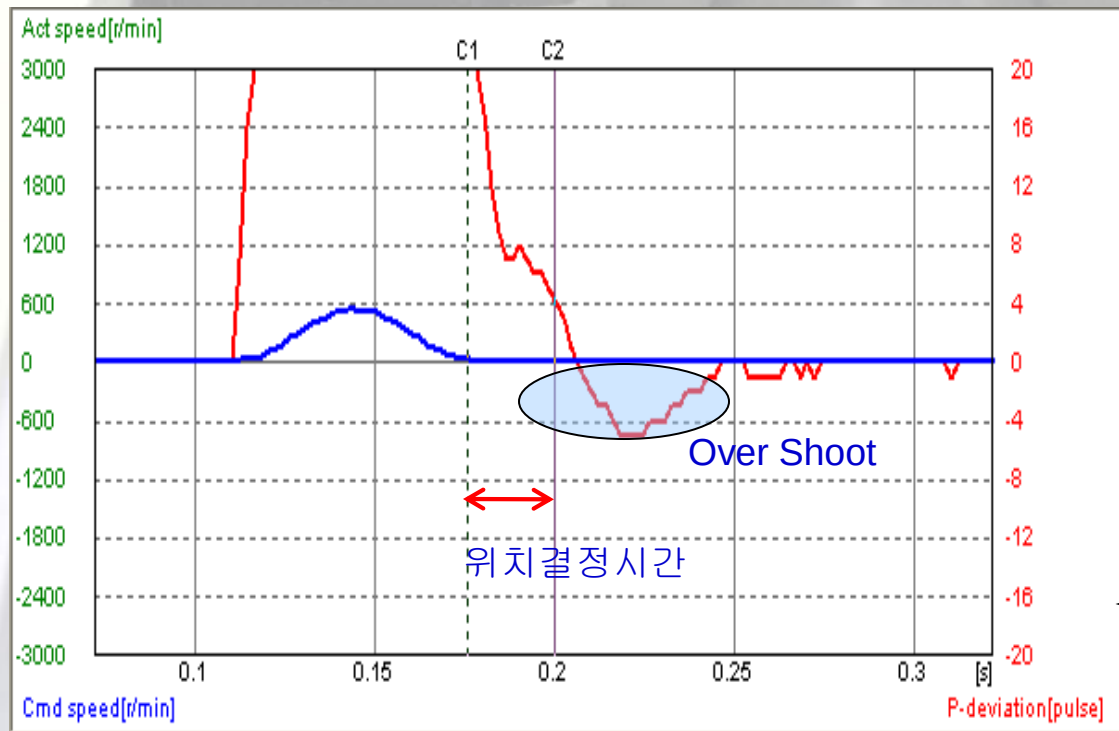


특 성(4) – 빠르고 안정적인 응답특성

Ball Screw 구동시스템 (모터 엔코더 기준)

이동거리 : 10mm 가속도 : 2G 분해능 : 3.2um
부하무게 : 10Kg 위치결정기준 : 13um(4pulse)

일반적인 짧은 거리 특성



시험결과

1) Over-Shoot : 있음.

→ 크기 : 16um

2) 위치결정시간 : **24msec**

**응답성은 좋으나,
Overshoot가 있음.**

특 성(5) – 빠르고 안정적인 응답특성

Ball Screw 구동시스템 (모터 엔코더 기준)

이동거리 : 100mm 가속도 : 2G 분해능 : 3.2um
부하무게 : 10Kg 위치결정기준 : 13um(4pulse)

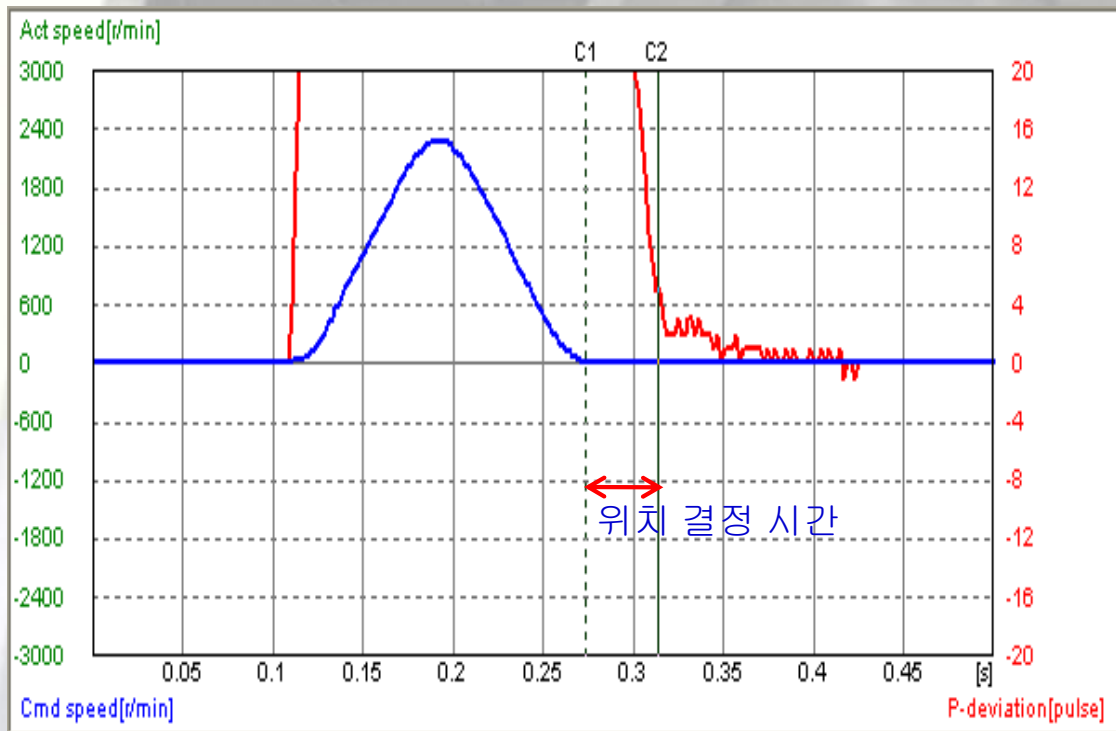
일반적인 긴 거리 특성

시험결과

1)Over-Shoot : 없음.

→ 크 기 : 0um

2)위치결정시간 : 42msec



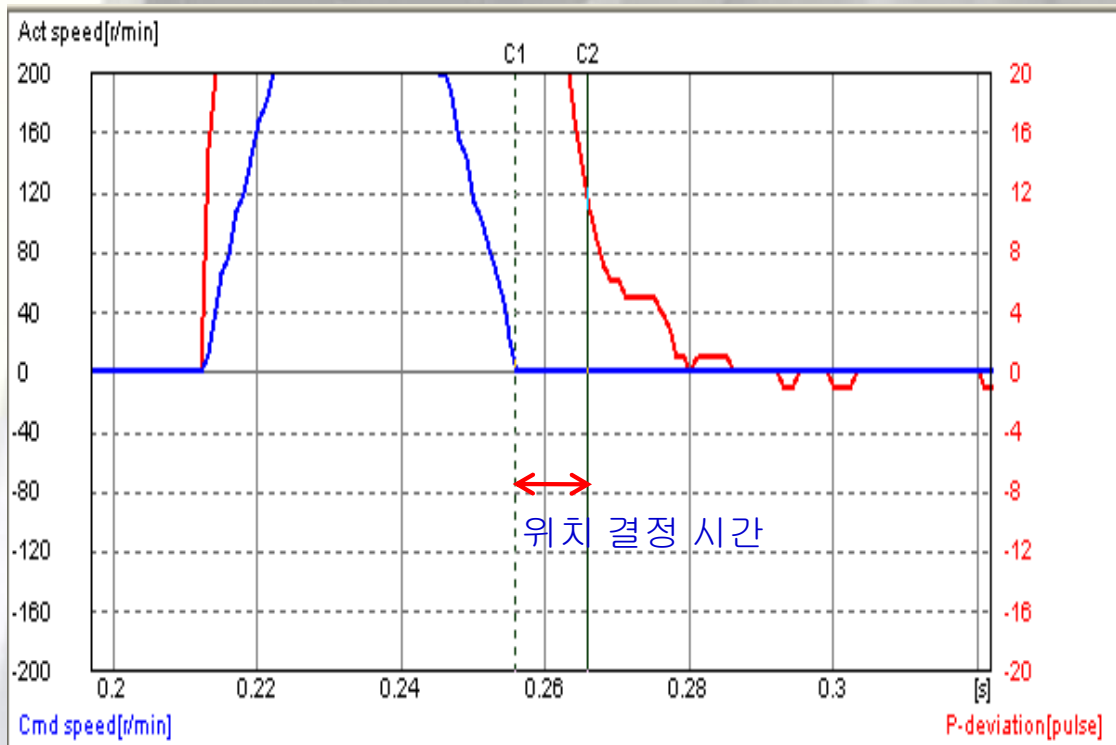
**응답성은 나쁘나,
Overshoot가 없음.**

특 성(6) – 빠르고 안정적인 응답특성

샤프트 모터 구동장치(리니어 스케일 기준)

이동거리 : 10mm 가속도 : 2G 분해능 : 1.0um
부하무게 : 10Kg 위치결정기준 : 13um(13pulse)

일반적인 짧은 거리 특성



시험결과

1)Over-Shoot : 없음.

→ 크 기 : 0um

2)위치결정시간 : **11msec**

**응답성이 좋으며,
Overshoot도 없음.**

특 성(7) – 빠르고 안정적인 응답특성

샤프트 모터 구동장치 (리니어 스케일 기준)

이동거리 : 500mm 가속도 : 2G 분해능 : 1.0um
부하무게 : 10Kg 위치결정기준 : 13um(13pulse)

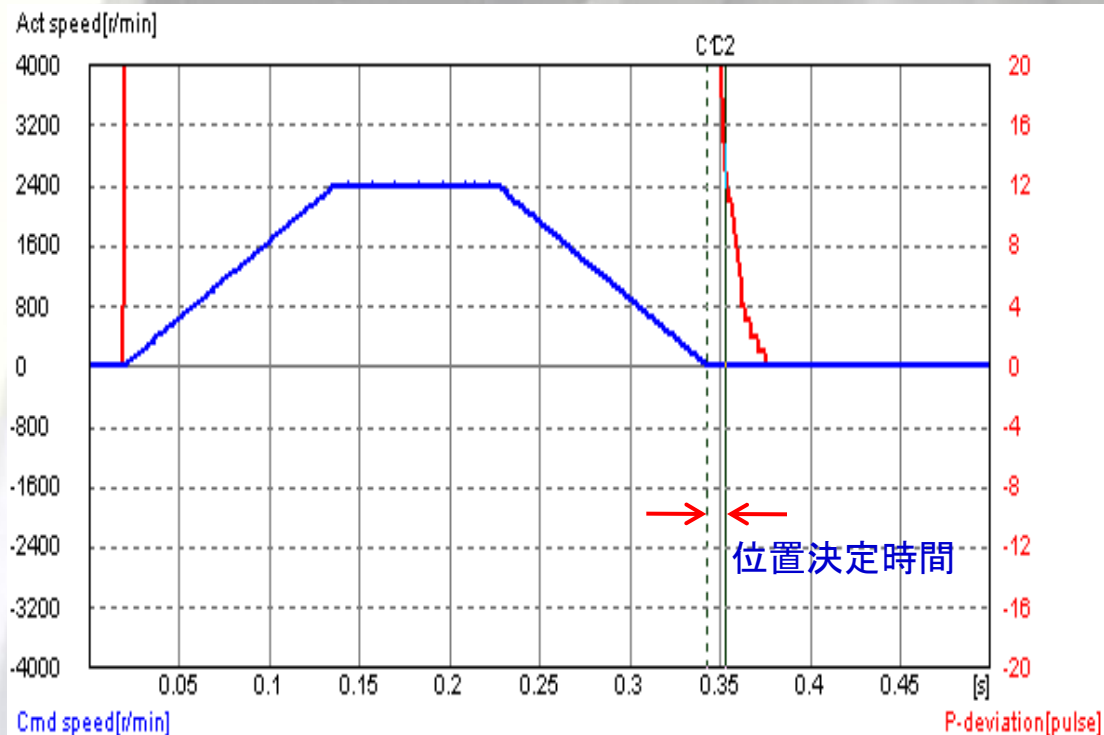
일반적인 긴 거리 특성

시험결과

1) Over-Shoot : 없음.

→ 크 기 : 0um

2) 위치결정시간 : **12msec**

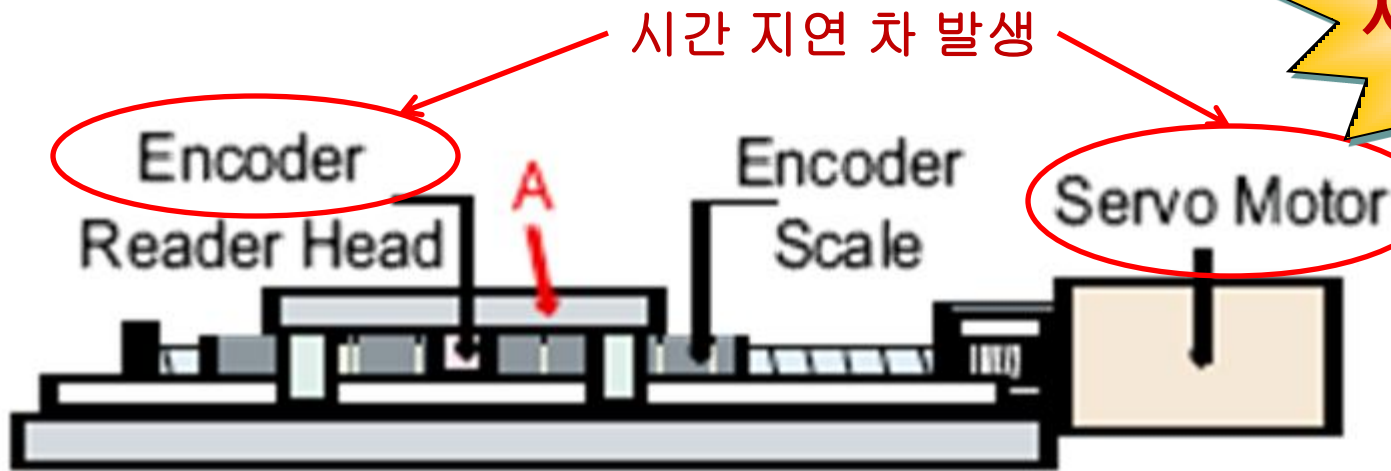


**거리별
응답성의 차이가
없음.**

특 성(8) – 안정적인 빠른 응답성

서보모터 엔코더와 리니어엔코더의 응답성

충분한
시간 지연의
여유 필요



로터리 모터와 리니어 스케일로 구성된 풀 클로우스 시스템

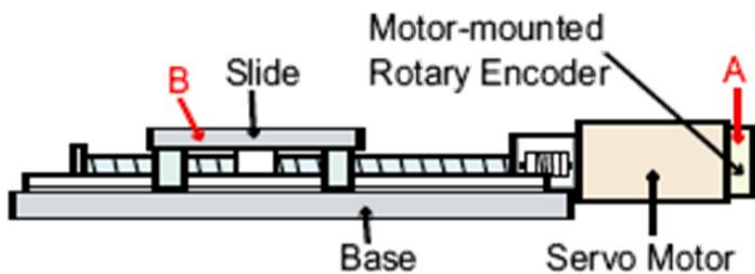
시간 지연차 발생 이유 : 커플링, 볼 스크류 등의 비틀림 특성

리니어스케일 셋틀링 타임 = 서보모터 셋틀링타임 + 10msec.

특 성(9) – 안정적인 빠른 응답성

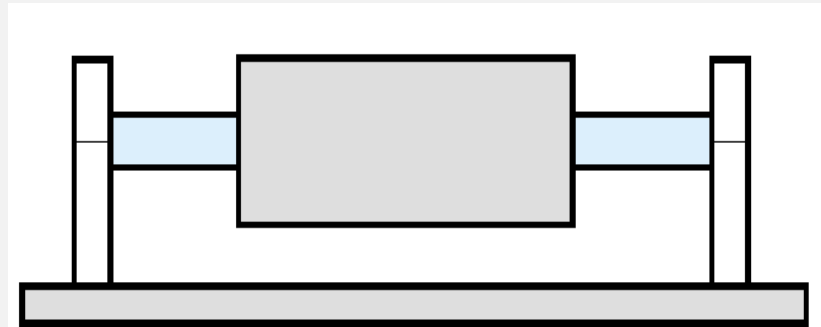
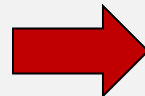
볼스크류 시스템과 샤프트 리니어 시스템 비교

위치결정시간
77%단축



볼 스크류 시스템

최대 셋들링 : **52msec**

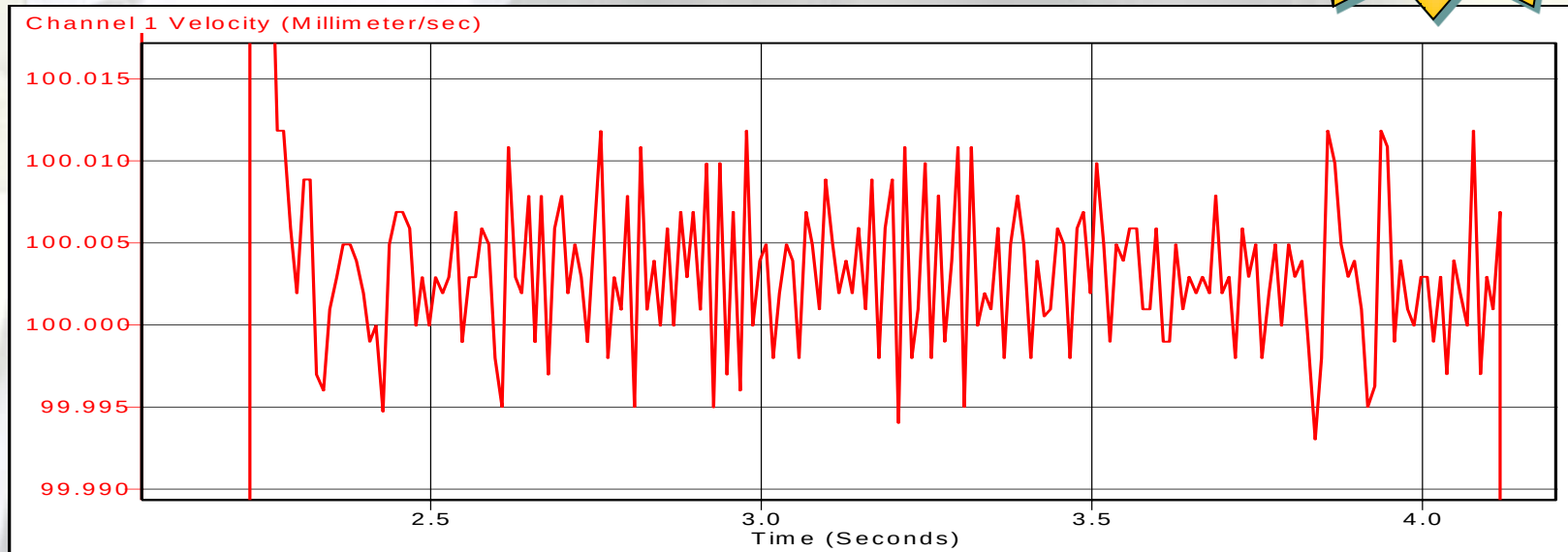


샤프트 리니어 시스템

최대 셋들링 : **12msec**

특 성(10) – 최소의 속도 리플

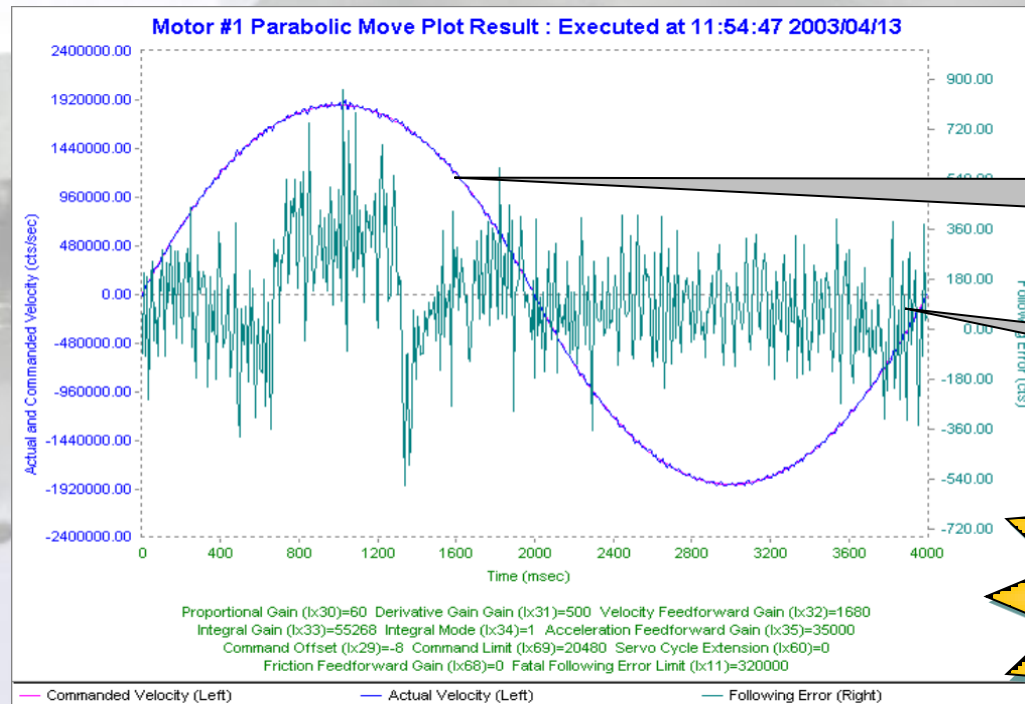
검사장비에서
최적 성능



속도 변동률 0.006% 이하 구현 가능.

스테이지 :	GTX 250	엔 코 더:	Heidenhain
모 터:	S200Q	분 해 능:	0.1 μ m
속 도:	100mm/sec	드라이버:	Servoland SVDM 5P
가 속 도:	1G	가 이 드:	Air bearing
부 하:	25kg (55 lbs)		

특 성(11) – 뛰어난 연속 속도 추종성



붉은 선 : 지령 속도
푸른 선 : 실제 속도

위치 편차

가공장비에서
최적의 성능

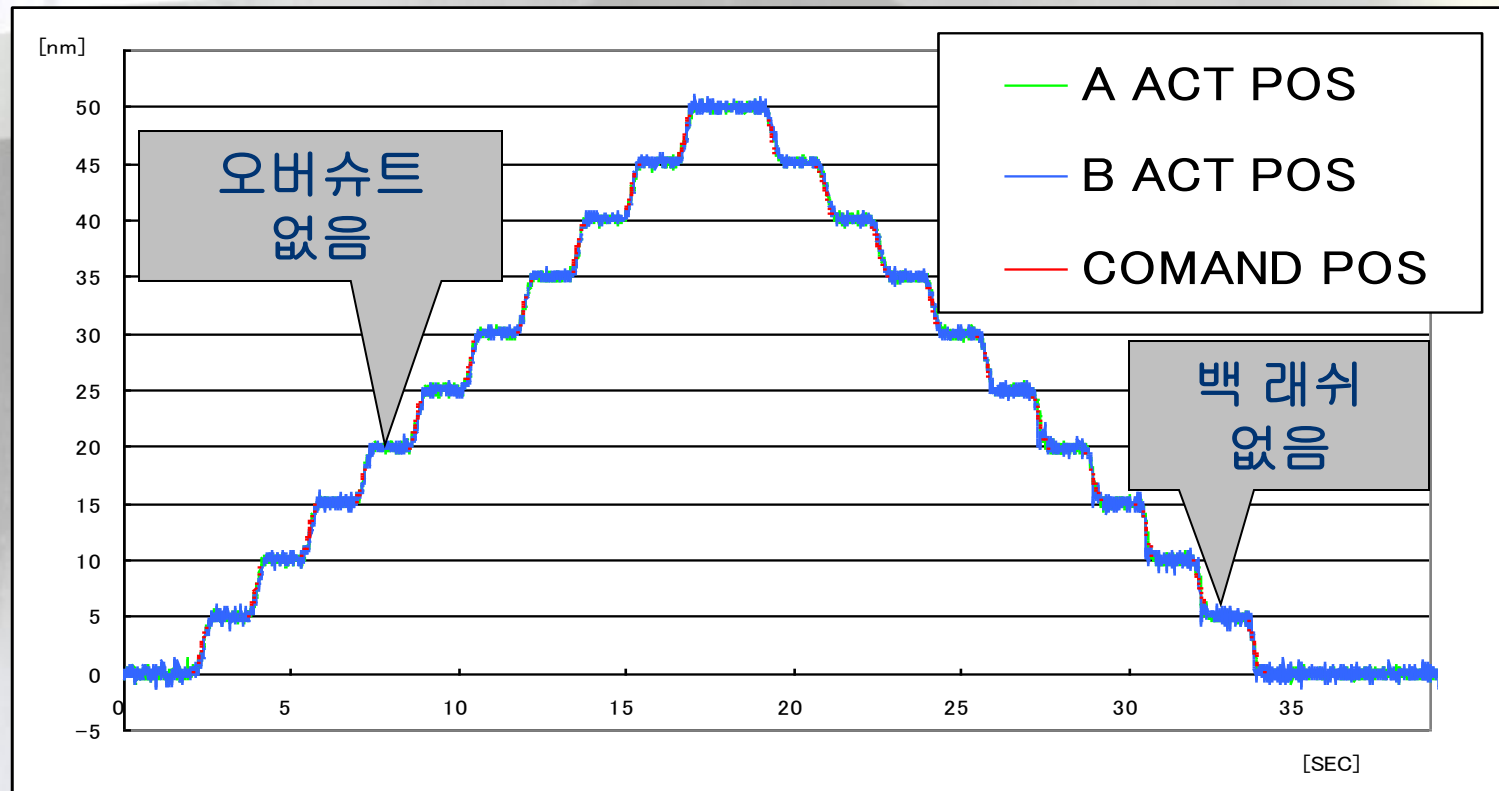
최대 위치 오차 **100nm 이하** 구현 가능

모 터 : 2- S320D in parallel
부 하 : 25kg (55 lbs)
속 도 : 3mm/sec
가이드 : Air bearing

엔 코 더 : SONY BS78 TS13
분 해 능 : 0.14 nm
드라이버 : Delta Tau U-Mac

특 성(12) – 나노 스테이지의 구현

5nm 스텝 이동 측정 실험 결과



모 터 : 2- S320D in parallel
부 하 : 25kg (55 lbs)
가이드 : Air bearing

엔 코 더 : Heidenhain
분 해 능 : 1 nm
드라이버 : Delta Tau P-Mac

정리

샤프트 리니어 모터의 성능 정리표

☑ 최대 추력	36000N (S1150T)
☑ 초소형 모터	S040D 25x10x10mm
☑ 최대 이동거리	4.6m (15' 1")
☑ 최대 속도	6.3m/sec (21ft/sec)
☑ 최소 속도	8 μ m/sec
☑ 최대 가속도	20G
☑ 속도 변동률	0.05%이하
☑ 최소 분해능	70 μ m (0.00007 μ m)