

고속·고정밀 금형가공센터 개발



이 재 윤

□대우종합기계(주)
공기자동화 사업본부
연구개발담당이사

1. 서 론

21세기 제조업의 모습을 현재와는 다른 형태로 바꾸기 위한 제조시스템에 대한 연구가 Intelligent Manufacturing Systems, Agile Manufacturing System, Virtual Manufacturing System 등과 같은 명칭으로 진행되고 있다. 이러한 연구가 성공하기 위한 하나의 조건이 고속 지능형 머시닝센터와 같은 고성능 공작기계의 개발이다. 일반적으로 공작기계의 고속화 목적은 절삭시간과 비절삭시간의 단축을 통한 생산성의 향상인데 절삭시간의 단축은 고속 가공 기술의 연구 성과에 힘입은 바 크다. 이와 더불어 고속가공에 의한 가공품질의 고품위화, 고정도화 효과도 기대할 수 있다. 고속 가공 또는 고속 절삭은 1924년 독일의 Carl. J. Salomon에 의해 절삭속도의 증가로 가공시간의 단축 및 가공품 정밀도 향상이

라는 개념에서 제안되었다. 이 개념은 임계절삭속도(Critical Cutting Speed) 이하에서는 절삭속도의 증가와 함께 절삭온도가 증가하지만 임계절삭속도 이상에서는 오히려 감소한다는 것에 근거하고 있다.

고속 절삭(High Speed Cutting) 기술은아래그림과 같이 공작물의 정밀도와 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있는 여러 가지 양호한 특성으로 갖고 있

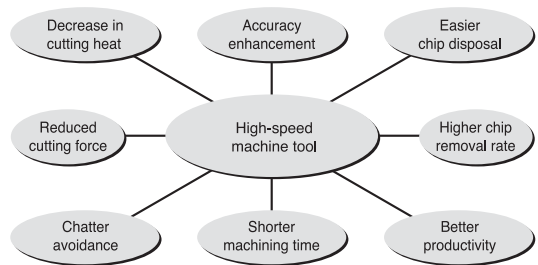


그림 1. 고속 가공기가 가공공정에 미치는 효과

어 다양한 산업분야에서 핵심적 제조기술 중 하나로 인식되고 있다.

일반적으로, 고속 절삭이 가능한 고속 머시닝센터는 일반 공작기계와 비교하여 주축의 고속회전, 이송계의 가감속 등에 의한 진동 요인이 크므로, 이에 대응할 수 있도록 정적 강성뿐만 아니라 동특성 개선을 위한 구조물 소재와 형태에 대한 연구가 필요하다. 또한 기하학적 오차, 열변형 오차를 최소화 할 수 있도록 구조물과 이송축을 구성해야 한다. 고속 머시닝센터는 1G이상의 가감속에 의한 충격으로 진동이 발생하기 쉬워 가공정밀도에 악영향을 초래하고, 위치 측정용 엔코더 등 제어 루프에 문제가 발생할 가능성이 높다. 특히, 양호한 고속특성을 얻기 위한 이송계 구조물의 경량화는 동적 강성 및 댐핑특성을 악화시키므로 고속 이송계 및 구조물 설계시 이송계 형태, 축 구성, 구조물 소재 선정, 동특성 등에 대한 충분한 검토와 이론 해석 및 분석 등이 선행되어야 하며, 각종 기하학적, 열변형 오차 원인과 오차 구성성분의 영향을 파악할 수 있는 ERROR BUDGETTING도 필요하며, 특히 기하학적 오차가 누적되지 않도록 하는 이송축의 설계가 필요하다.

그러나 이러한 최적화 작업은 가공기의 Systematic Error를 감소하기 위한 방안일 뿐이며 실제 가공상황에서 발생하는 임의 오차와 환경변화에서 비롯되는 오차는 해석적 방법으로는 접근이 힘들며 장비 스스로 보상을 행하게 하는 지능화 구현이

필수적이다.

이송기구는 일반적으로 구동 모터와 전달요소, 즉 볼스크류, 커플링 또는 타이밍 벨트로 구성되어 회전운동을 직선운동으로 변환시킨다. 이러한 변환기구는 현재 속도, 부하하중 조건에서의 강성, 이송거리, 동특성의 측면에서 제약요인이 되고 있다.

특히, 고속화에 따른 발열문제는 볼스크류 구동방식에서 해결해야 할 과제가 되고 있다. 볼스크류에 의한 실용상의 최대 이송속도는 약 60 m/min인 것으로 알려져 있다. 볼스크류 구동의 경우 가속 특성은 서보모터의 토크, 볼스크류와 모터의 회전관성 모멘트, 슬라이드와 부하 등 직선운동 부분의 등가 관성모멘트에 의해 결정된다. 리니어 모터 이송장치에서는 가속력은 단순히 모터의 이송 방향 힘과 직선적으로 이동하는 부분의 질량만으로 결정된다.

리니어모터 구동 방식은 볼스크류 방식에 비해 많은 이점을 제공한다. 운동 변환 기구가 없으므로 가속, 감속이 증가함에 따라 정밀도를 악화시키는 백래시나 컴플라이언스로부터 자유로워진다. 특히 리니어 모터 구동계의 고강성 특성은 정밀도와 높은 가감속 성능을 동시에 달성할 수 있어서 고속, 고정밀 공작기계용으로 최상의 조건을 제공한다.

리니어 모터는 회전형 모터를 펼쳐 놓은 구조인데 자기부상열차와 비슷한 형식으로 공작기계의 운동체를 이송시킨다. 리니어 모터 구동에 있어서 힘의 전



그림 2. 구조물경량화에 필요한 설계 개념

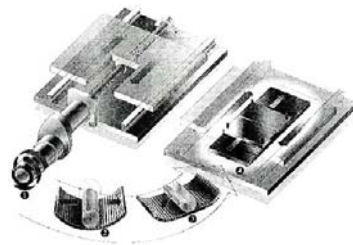


그림 3. 리니어 모터의 구조

달 과정에서 볼스크류 방식과 달리 기계적인 전달 요소를 갖지 않는 점은 일반적인 볼스크류 구동과 비교하여 고속 특성 측면에서 커다란 차이가 있다.

리니어모터 구동 머시닝센터 개발의 필요성은 리니어모터를 사용할 경우 동력 전달계에 존재하는 휨이나 백래쉬가 없어지고 강성이 향상되며, 이 결과 고속 운전과 고속 가공시의 정밀도 향상을 기대할 수 있게 된다. 또 높은 강성은 종래의 회전형 모터로는 곤란했던 서보계의 高 게인(GAIN)화를 가능케 한다. 그 외에 마모부품을 거의 사용하지 않아 종래 레벨에서의 정기보수가 불필요하고, 대형 장비에 필요한 긴 스트로크의 구성이 용이하며, AC 서보 모터와 같은 동기모터이므로 매끄럽고 안정된 구동 성능과 같은 양호한 특성을 보유하고 있다.

한편, 볼스크류 구동 머시닝센터는 공작기계의 이송 속도, 고속 이송 정밀도 측면에서 더 이상의 성능 향상을 기대하기 곤란한 구조적 한계를 갖고 있으며, 향후 고속·고정밀 가공용 머시닝센터의 성능에 있어서 리니어모터 구동 머시닝센터와 비교할 수 있는 경쟁 대상이 될 수 없을 것으로 예상된다.

특히, 절삭 이송속도 분당 30m/min 이상에서 고정도 가공이 가능해야 되는 고속 가공기의 경우, 현재 직선 운동계의 90%이상에 채용되고 있는 볼 나사를 이용한 이송계 구성은 백래시, 발열, 탄성변형, 낮은 강성에 의하여 제어정도가 저하되므로, 리니어 모터를 채용한 직접적인 슬라이드 구동이 필요하게 된다. 즉, 구동기와 운동체 사이에 제어정도를 저하시키는 어떠한 기계요소도 개입하지 않는 리니어 모터 적용이 필수이다. 그렇다고 Linear Motor의 적용이 장점만을 갖는 것은 아니다. 감속기구가 없으므로 외부의 절삭력 변화에 민감하고, 따라서 운동정도가 악화되기 쉬우며, 구동력에 비해 Coil과 자석판사이에서 작용하는 Attraction Force가 크게 작용함으로 구조물에 큰 변형을 일으킬 가능성이 높은 단점도 있다.

고속·지능형 공작기계의 주요 사용 분야의 하나로 금형 가공 분야를 들 수 있다. 금형 제작에 있어서, 고속가공에 의한 고속 절삭이 크게 각광을 받고 있

며, 그 이유는 표면 조도, 표면 품질, 형상 정밀도를 향상시켜 수작업에 의한 마무리 공정을 줄이거나 없애므로써 납기를 단축할 수 있기 때문이다.

금형가공시 수작업에 의한 마무리 공정은 기술자의 숙련도에 절대적으로 의지하고, 작업 시간 또한 전체 가공시간의 25~38%에 달하는 것으로 알려져 있다. 이를 고속고정밀 머시닝센터를 사용하여 고속 절삭할 경우, 황삭가공, 사상가공 등 가공시간의 단축, 수작업 시간의 단축을 통해 전체 작업시간을 30%까지 단축할 수 있다. 더구나 수작업은 핸드 그라인딩에 의존하므로 에러발생 요인을 내재하고 있고, 심하면 금형 시험 단계에서 금형을 파손시켜 재가공으로 인한 손실을 입을 수도 있다. 금형으로 만들어지는 성형품의 용도는 자동차, 전자를 포함한 매우 광범위한 분야에 걸쳐 있어 금형 산업은 산업상의 연관성이 대단히 높다.

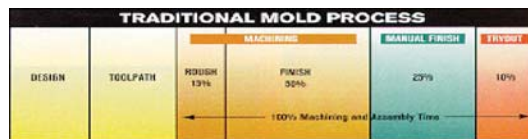


그림 4. 종래 금형제작의 공정별 시간비율

금형 공업이 발달한 선진 공업국은 수작업을 줄이고 장비 의존율을 높이고 있으며, 장치산업화를 도모하고 있는 점을 고려할 때, 우리 나라도 금형공업의 생산성 향상을 위해 고속·고정밀 머시닝센터와 같은 금형관련 장비에 대한 투자가 지속적으로 되어야 하며, 앞으로 더더욱 중대 시켜야 할 것으로 예상된다. 국내 금형 공업은 중소기업이 40%를 차지하고, 특히 5인 이하의 영세 업체가 11%에 달하며 주로 기술자의 숙련도에 의지하고 있어 그 필요성이 더욱 높다. 특히, 금형공업의 경우 고정밀성과 장시간의 절삭시간을 갖는다는 특징을 가지므로, 지속적인 상태 모니터링, 정밀도의 보상기술 그리고 작업자의 숙련도를 대체할 수 있는 고속 고정밀 금형가공 센터의 개발이 필수적이라고 할 수 있다.

국내 금형 가공업체에서 사용되는 금형가공기는 아직도 NC 밀링기 또는 일반 머시닝센터 형태의 금형 가공용 장비가 주류를 이루고 있다. 이는 고정밀 금형의 가공에는 부적합하므로, 주로 방전가공의 전단계로 절삭가공을 이용하고 있기 때문이다. 그러나 고속가공에 의해 고정밀 소재를 최종형상에 근접하도록 가공을 할 수 있으므로 방전가공 공정을 줄이거나 경우에 따라서는 아예 방전가공공정을 제거할 수도 있으므로, 금형업계에서는 고속가공 및 고속가공기에 대한 관심이 고조되고 있다.

이렇게 금형산업에서 고속가공기의 필요성이 증대함에 따라 고속가공기의 핵심기술인 고속 이송계, 고속주축, 공작기계의 고속제어, 적응제어 등에 대한 연구가 국내 대학 및 연구기관에서 활발히 이루어지고 있다. 현재 40m/min이하의 공작기계 개발 사례는 알려지고 있으나, 아직은 고속화에 따른 최고회전수의 수준, 진동, 소음 측면에서 미진한 실정이다. 한편, 60m/min이상의 이송속도를 갖는 고속고정밀 머시닝센터의 개발 사례는 아직 보고되지 않고 있다.

금형의 품질을 결정하는 형상정밀도와 표면조도를 향상시키기 위해서는 금형가공기의 정밀도(주축의 회전정밀도, 이송계의 위치결정정밀도 및 반복정밀도, 열변형 보상 등 각종 오차보정) 제고를 위한 연구가 필수적이다.

대형 금형의 가공에는 강력절삭/고속절삭 능력을 가진 장비가 필수적이거나 이러한 장비는 전량 수입에 의존하고 있고, 금형가공의 고속화/고정밀화를 위해서는 고성능 금형가공기의 개발 뿐 만 아니라 고속절삭기술 등 금형가공기술의 동시 개발이 필요하다.

2. 연구개발 목표 및 내용

2.1 연구개발의 목표

본 연구에서 개발하고자 하는 고속·고정밀 금형가공기는 다음과 같다.

표 1. 고속 고정밀 금형가공센터의 제원

항 목	단 위	목 표	
이송범위	X축	mm	600
	Y축	mm	400
	Z축	mm	400
이송속도	급속이송속도	m/min	120
가속도	X/Y/Z축	g	1.4/1.4/2
테이블	크기	mm	800×400
	최대하중	kg	400
주축	회전수	rpm	30,000
	주축단	-	HSK-E40
	베어링형식	-	공기베어링
ATC	보유공구수	ea	12
	구동방식	-	SERVO

2.2 고속·고정밀 금형가공기 개념 설계

리니어 모터를 이용한 수직형 금형가공기는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째 테이블이 움직이는 방식(Table Moving Type)으로, 주로 두 축은 집적되어 있고 한 축은 테이블이 움직이는 형태이다. 이 구조의 특징은 한 축이 다른 두 축과 분리되어 있으므로 기하학적 오차측면에서 유리하고 정도 작업이 용이하다. 그리고 이송 축의 누적을 회피함으로써 강성 배분을 통해 비교적 고강성화가 가능한 방식이며, 또한 공작물을 지지하는 테이블이 이송하는 구조로 작업자의 접근이 쉽고, 작업편의성이 뛰어나다.

둘째 컬럼이 움직이는 방식(Column Moving Type)으로, 3축이 집적되고 테이블은 고정되는 형태이다. 이 구조의 특징은 3축이 집적되어 있으므로 가동중량이 커서 고속가감속시 충격량이 크며, 이에 따른 동적 안정성에는 불리하나, 공작물과 가공치구 등의 형상과 크기에 관계없이 가동부의 질량이 일정하므로 모든 절삭가공시 운동특성의 예측이 용이하며, 이에 따른 절삭 안정성 확보가 쉽다. 특히 아래 베이스 부분에 이송계를 구성하지 않기 때문에 칩 및 절삭유 배출이 용이하고, 공작물이 움직이지 않으므로 서보 특성에 변화가 없어, 고속 제어에 유리하다. 그리고 신소재 적용이 용이한 구조이며 또한 장비 개



발 후 5축 및 흑연 가공기와 같은 옵션 개발에 크게 유리하다.



그림 5. Table Moving Type



그림 6. Column Moving Type

각각의 형태에 대해 그림 5, 6과 같이 다시 3종류로 세분화할 수 있다. 처음에 있는 형태가 Box-In-Box 구조이다. 이는 리니어 모터를 사용하는 공작기계에게 많이 적용되는 형태로 리니어 모터가 가지는 자기흡인력을 고려해 볼 때 가장 안정적인 구조로 알려져 있다. 그러나 장비의 크기에 제약 조건이 따른다. Z축을 가지고 있는 X축 부착 형태에 따라 다시 그림과 같이 두 가지로 나눌 수 있다. 중간에 위치한 형태는 X축 이송 안내면 방향을 증력축에 평행하게 구성하는 방식으로 경량화, 소형화, 접근성, 제작성에 이점이 있다. 그리고 마지막에 위치한 형태는 X축 이송 안내면이 증력축에 수직으로 구성하는 방식으로 대형 장비에 유리하다. 본 연구에서는 우선 가·감속 제어 특성에 민감한 리니어 모터의 특성을 최대한 살리기 위해 3축이 집적되는 형태(Column Moving Type)를 선택하였고, 그리고 장비의 경량화, 소형화, 접근성, 제작성 등에 상대적으로 유리한 그림 6 중간에 표시되어 있는 형태로 확정하였다.

2.3 이송 시스템 구성

리니어모터 구동 머시닝센터 개발의 필요성은 리니어모터를 사용할 경우 동력 전달계에 존재하는 마찰력이 감소되고, 변형 및 백래쉬가 없어지고 강성이

향상되어, 고속 운전시의 정밀도 향상을 기대할 수 있게 된다. 또 높은 강성은 종래의 회전형 모터로는 곤란했던 서보계의 고 게인(GAIN)화를 가능케 한다. 그 외에 마모부품을 거의 사용하지 않아 종래 레벨에서의 정기보수가 불필요하고, 대형 장비에 필요한 긴 스트로크의 구성이 용이하며, AC 서보 모터와 같은 동기모터이므로 매끄럽고 안정된 구동특성을 보유하고 있다. 그림 3에서 보듯이 리니어 모터는 회전형 모터를 펼쳐 놓은 구조인데 자기부상열차와 비슷한 형식으로 공작기계의 운동체를 이송시킨다.

한편, 볼스크류 구동 머시닝센터는 공작기계의 이송 속도, 고속 이송 정밀도 측면에서 더 이상의 성능 향상을 기대하기 곤란한 구조적 한계를 갖고 있으며, 향후 고속·고정밀 가공용 머시닝센터의 성능에 있어서 리니어모터 구동 머시닝센터와 경쟁 대상이 될 수 없을 것으로 예상된다. 다음 표 2는 볼스크류와 리니어모터의 주요 특성을 비교하였다.

표 2. Ball screw구동과 Linear motor구동의 비교

Charateristic	Ball screw	Linear motor
Max speed	0.5m/s (lead dependent)	2.0m/s typical (3~4m/s possible)
Max acceleration	0.5-1g	2-10g
Static stiffness	9-18kgf/ μ m	7-27kgf/ μ m
Dynamic stiffness	9-18kgf/ μ m	16-21kgf/ μ m
Settling time	100ms	10-20ms
Max force	26,700N	9,000N/coil
Reliability	6,000~10,000hrs	50,000hrs

리니어 모터 구동에 있어서 힘의 전달 과정에서, 볼스크류 방식과 달리 기계적인 전달 요소를 갖지 않는다. 이러한 리니어 모터 구동계의 고강성 특성은 정밀도와 높은 가감속 성능을 동시에 달성할 수 있어서 고속, 고정밀 공작기계용으로 최상의 조건을 제공한다.

2.4 구조물의 최적화

금형가공센터의 고속, 고정도화를 위해 고속 이송체의 무게를 줄이고 강성을 높이기 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 다목적함수 최적화 설계를 수행하



였고, 또한 정적인 힘에 의한 정강성과 동적인 힘에 의한 동강성을 모두 최적화 시키기 위하여 2단계에 걸쳐서 다단계 최적화를 수행한다. 본 연구에서는 전체적인 최적설계단계를 총 4단계로 설정하였으며, 그 과정은 다음 그림 7과 같다.

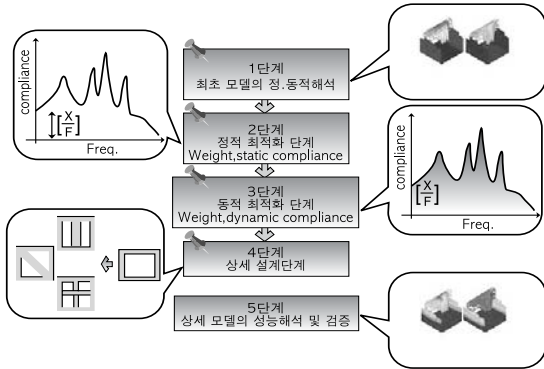


그림 7. 다단계 최적설계 과정

우선 1단계 최초설계 모델의 정·동적 구조해석은 개념설계 단계에서 결정된 최초 모델의 정·동적 해석을 수행하고 그 결과를 장차 2~4단계의 설계과정을 거쳐 결정될 최적설계된 모델의 해석 결과와 비교하기 위한 것이다. 실질적인 최적설계는 2~4단계에서 이루어진다고 볼 수 있다. 2단계는 이송체 구조물의 정강성과 이송체의 무게를 최적설계하는 단계로서, 정적인 힘 즉, 이송체의 자중과 모터의 추력, 이송체의 관성력 및 절삭력이 작용할 때에 tool post의 정적 절대 컴플라이언스 (static absolute compliance)와 이송체의 무게를 최소화시키는 정적 최적화 단계이다. 3단계는 2단계에서 결정된 설계 파라미터들 중에서 동적인 힘(절삭력)에 의한 Tool Post의 동적 절대 컴플라이언스(dynamic absolute compliance)와 이송체의 무게를 최소화시키는 동적 최적화 단계이다. 그리고 4단계는 2단계와 3단계 설계과정을 거쳐서 최적 설계된 모델의 부재별 단면계수를 증가의 구체적인 단면 형상으로 구체화시키는 단계이다. 5단계는 구체화된 최적설계모델에 대한 정적 및 동적 구조해석을 수행하고, 요구되는 성능이 만족되는지를 최종적으로 검토하는 단계이다.

2.5 공기 주축 개발

고속 모터내장형 공기주축의 설계를 통해 모터내장형 공기주축계의 유한요소모델을 구축하고 그 모델을 토대로 주축계의 제원과 정특성의 관계를 체계화하고 실제 제작과정에 적용하였다. 유한요소모델은 절점(Node)수 18, 요소(Element)수 17, 4개의 베어링 설치위치 수정과 스러스트 디스크(Thrust Disk)를 고려하여 해석하였다. 베어링의 위치는 모터 회전부의 뒤쪽에 2열 급기 레이디얼 베어링을 1개 설치하고, 주축 선단부에 모터쪽의 2개의 레이디얼 베어링, 그리고 스러스트 베어링부에 2열 급기 레이디얼 베어링을 설치하였다.

표 3. 유한요소모델에 대한 입력 DATA

Elastic Module (E), [N/m ²]	2.12E+11	
Poisson's Ratio(ν)	0.3	
Density(ρ),[kg/m ³]	7833	
Bearing Coefficient [N/m]	2 Node, 3 Node	6.05E+7
	8 Node, 9 Node	6.05E+7
	10 Node, 11 Node	6.05E+7
	15 Node, 16 Node	6.05E+7

위의 표 3과 같은 데이터를 입력하여 5차 고유진동수까지 확인하였고, 1차 고유진동수는 47654.1 rpm에서 나타났다.

2단계에는 목표인 분당 5만회전의 공기주축을 개발하고 있으며, 스러스트 베어링의 부하지지능력을 제고하기 위해 그루브형태의 베어링에 대한 연구를

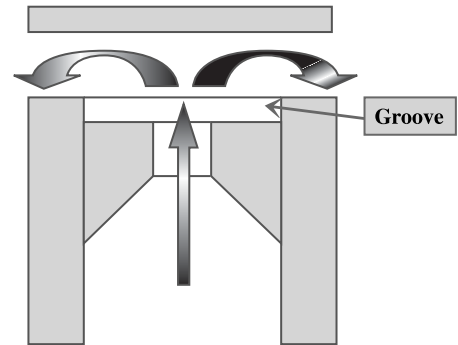


그림 8. 그루브형태의 스러스트 베어링

진행하고 있다.

2.6 열변형 해석 및 보정장치 개발

설계된 레이아웃에 근거하여 목표가공기에 대한 열변형 해석을 실시하였다. 또한 제작된 시작품에 대해 실제 열변형을 측정하였다.

현재는 이송속도 및 주축의 속도에 따른 가공 영역 내의 열변형을 실제 가공시험을 통해 측정하고 있다. 향후 이상의 연구결과를 사용하여 열변형 보상장치를 제작할 예정이다.

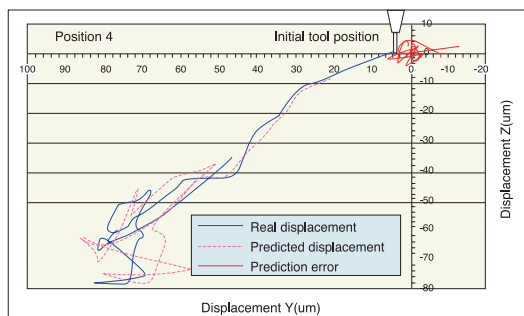


그림 9. 실제 열변형량과 예측결과의 비교

2.7 응용가공기술 연구

고속·고정밀 금형가공에는 공구, 소재, 공구경로, 금형가공기 등의 인자가 중요한 역할을 한다.

금형가공기의 경우 주축과 이송계의 운동 특성 주목할 필요가 있다. 주축은 금형의 표면조도에, 이송계는 형상정밀도에 관계된다.

이송계의 운동 특성은 기본적으로 기구부의 구조적 특성에 따라 기본 성능이 결정되지만, 속도계인, 위치계인 등 제어 파라미터, 예견제어 및 각종 보간 기능의 적용, 지령단위 및 피드백 방법 등의 영향을 받는다.

본 연구에서는 목표가공기의 응용분야인 금형가공에 중점을 두고, 이와 관련된 금형가공기의 성능을 파악하고, 금형 가공의 생산성과 정밀도에 결정적 영향을 미치는 운동정밀도를 향상시키는 방법에 대해 연구를 진행하고 있다.

간단한 가공시험을 통해 장비의 운동정밀도, 열변

형량 등을 파악할 수 있는 육안검사시편, 가공결과를 정밀 측정을 통해 가공정밀도를 파악할 수 있는 정밀 검사시편 등이 연구되고 있다.

또한 실제 금형의 다양한 형상 가공 시험을 통한 고속·고정밀 금형가공에 대한 응용연구도 병행되고 있다.

3. 연구 수행 결과

리니어 모터를 이용한 고속 고정밀 금형가공 센터를 개발하기 위해 요소 장치인 리니어 모터의 특성 분석, 구조물의 최적화, 복합소재 적용방안 수립, 공기주축 연구를 통해 장비의 기본 레이아웃을 도출하였다.

기본축구성에는 3축이 집적되어 비교적 고속제어에 유리하고, 복합소재, 탄소섬유 등의 신소재적용이 용이한 구조로 정하고, 세부적으로는 경량화, 소형화, 접근성, 제작성 등의 관점에서 유리한 축 구성을 최종 확정하였다.

이송계는 유전자 알고리즘을 이용하여 다단계 최적화를 통하여 정·동 특성을 중량대비 최대화되도록 설계하였다. 용접구조물에 탄소복합소재를 결합한 하이브리드 형태의 이송체 연구를 통해 주축의 진동을 흡수하려는 연구가 추가되었다.

베이스를 포함한 구조물은 폴리머 콘크리트의 배합 비율과 구조물의 형상을 연구하여, 이송계의 제어 BANDWIDTH와 감쇠율이 크도록 설계제작하였다.

HSK-E40의 공구홀더의 클램핑구조를 포함하는 분당최고 회전속도 3만회전의 공기주축을 설계제작

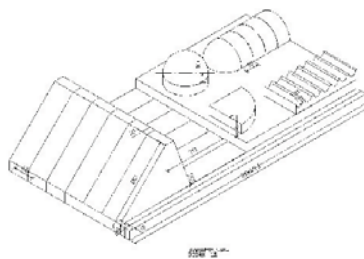


그림 10. 육안검사시편



하고 기본적인 성능평가를 완료하였다. 현재는 3만 회전 공기주축 개발경험을 기초로 하여, 보완된 스트리트 베어링 구조를 적용하여 5만회전의 공기주축을 설계하였다.

설계된 레이아웃에 근거하여 목표가공기에 대한 열변형 해석을 실시하였다. 또한 제작된 시작품에 대해 실제 열변형을 측정하였다.

고속·고정밀 금형가공기를 활용하기 위한 고속 가공기술연구를 진행하였다. 가공실험을 통해 금형가공기의 운동 성능 및 열변형량을 측정할 수 있는 가공시편의 개발 및 실제 금형 형상 가공연구가 병행되었다.

이상의 연구과정을 통해 1단계에서 고속·고정밀 금형가공기 시작품을 설계제작하고, 성능평가를 실시하였다. 2단계에서는 실용화 측면에 보다 중점을 두고 연구가 진행되고 있다.

4. 결론

본 과제를 통해 개발중인 고속·고정밀 금형가공기는 리니어 모터, 폴리머 콘크리트, 탄소복합소재 등 소재기술, 이송체 최적화 기술, 고속공기주축 기술 등을 개발함으로써 세계 최첨단의 금형가공기로 개발될 예정이다.

향후 과제는 실용적인 금형가공기의 개발과 더불어, 실제 사용자가 목표가공기의 성능을 실제 금형용으로 활용할 수 있도록 응용가공기술을 연구하는 노력이 요구되고 있다.

참고 문헌

- [1] 이재운, 김태형, 이득우, 최영휴 외
“고속·고정밀 금형가공센터 개발”,
산업자원부, 1차년도 연구보고서, 2000년

