

미래 기계 : 21 세기를 위한 전망

김병만, 조형석
한국과학기술원 기계공학과

1. 서론

기계는 간단한 작업만을 수행할 수 있는 기초적인 도구에서 점점 그 구조가 복잡화 되어가는 한편, 인간과 같은 지능을 갖는 방향으로 계속해서 발전해 왔다. 기계의 발전은 시장의 변화, 사회의 변화 그리고 각 시대에 사용할 수 있었던 배경 기술의 변화 등과 같은 다양한 관점으로 설명되어 질 수 있다. 사실상 앞에서 제시한 이유들은 기계 개발에 대한 외적인 필요성을 창출하고 새로운 형태의 기계를 생산해내는 동인으로 작용하였다. 우리는 이와 같은 기계의 발전을 고찰하는 방법 중에서 기계의 각 기능들과 성능 그리고 환경 변화에 대한 적응성이 어떻게 발전되어 왔는가 하는 측면에서 기계 변화를 살펴보고자 한다. 과거에 사용되던 기계는 매우 간단한 구조를 가지고 있으며 오직 한 두 가지의 제한된 작업만을 수행할 수 있으며, 사용 환경이 기계가 사용할 수 있는 제약된 조건에 만족하는 경우에만 특정한 생산품을 생산해 낼 수 있었다. 또한 기계의 동작 및 제어도 인간 작업자의 개입을 통해서만 주어질 수 있었다. 기술적으로 완벽한 성숙 단계라고 할 수는 없지만, 현대의 기계는 모니터링, 진단성, 품질 검사 등과 같은 복잡한 기능들을 갖추기 시작했으며 지속적인 발전을 이루어가는 과정에 있다. 기계가 수행하는 작업에 대해서 기계의 성능을 평가할 수 있는 인자로는 작업의 정밀성, 작업 수행의 신뢰성, 또한 외부에서 작용하는 외란에 대한 강인성 등을 들 수 있다. 한 예로 기계의 정밀성을 들어 보자. 기계의 정밀성은 1980년대 초와 비교 한다면, 현재는 수십 배 이상의 정밀도를 갖는 기계가 등장했으며 앞으로 정밀도는 계속해서 증가할 것임을 알 수 있다. 이러한 경향은 제품이 요구하는 엄격한 품질요구를 맞추기 위해서 기계가 소위 고정밀 시대로 들어가는 것을 의미한다. 예로 든 정밀성 외에, 비슷한 기술의 흐름을 외부 환경의 변화에 따른 기계의 적응성 혹은 기계에 지능을 부여하는 지능성이라는 측면에서도 동일하게 적용할 수 있을 것이다. 이 논

문에서 다루고자 하는 것은 이렇게 기계의 성능에 큰 영향을 미치는 기계의 성능들을 바탕으로 미래기계를 조망하는 것이다. 그러나 미래기계에 대한 장기적인 전망을 예측하는 것은 현재 기술의 비약적 발전 속도를 고려할 때 매우 어려운 일이 될 것이다. 그러나 우리는 컴퓨터 기술, AI, 센서, 구동기, 제어, 통신, 기계 인간의 인터페이스, 기계 메커니즘과 같은 기술이 과거로부터 현재에 이르기까지의 기술개발 과정의 역사를 살펴 봄으로써 미래의 경향에 대한 대략적인 예측을 해볼 수는 있을 것이다. 그리고 우리가 기계를 평가할 때에 과거나 현재 그리고 미래에 동일하게 평가할 수 있는 몇 개의 핵심 특성이 무엇인지, 이를 바탕으로 기능성의 평가, 시스템 구성 등에 대한 점진적인 변화에 대해 이야기 할 것이다. 이러한 변화를 보이는 예로서 기계를 구성하는 시스템의 각 부분들의 기술적인 발전을 통해 보여줄 것이다. 그리고 이를 위해 기계가 필요로 하는 세부적인 기술들에 대해 논문의 마지막 부분에서 간단하게 언급할 것이다.

2. 기계의 발전에 대한 역사적 고찰

과학기술에 대한 역사적 고찰을 위해 기술의 발달을 세 가지 단계로 나눠보자. 먼저 고전 시대로 이 시기는 과학기술의 발전이 매우 느린 속도로 이루어지던 시기를 가르킨다. 이 시기는 역사적으로 약 1500년 까지 지속되었다. 이 시기에는 기술의 발전은 정지해 있었으며 과학기술의 발전을 위한 시도가 거의 없었던 시기 였다고 할 수 있다. 다음은 기술의 발전 시기로 이 시기는 1500년부터 1800년까지의 시기로 구분된다. 이 시기에는 르네상스와 계몽주의의 영향을 받아 기술이 실제적으로 발전할 수 있도록 기초를 다지는 시기라고 할 수 있다. 이 시기는 주로 장인에 의해 기술이 발전했지만 장인이 사용할 수 있는 장비나, 도구는 제한되어 있었다. 이 시기에 발전된 기술은 화약, 활자, 컴퍼스, 간단한 기계부품 등 이었다. 기술의 발전 단계를 거쳐서 1800년 이후

의 시기를 우리는 기술의 시대라고 할 수 있다. 이 시기는 실제 기술이 발전하고 사회에 급속한 영향을 미치는 시기이다. 윌킨슨(Wilkison)이 1775년 선반 기계를 처음 발명한 이래로 과학기술은 이 시기에 모든 분야에서 비약적인 발전을 거두어 왔다. 특히 기계분야의 발전은 다른 분야의 과학기술 발전에 거대한 원동력이 되어 왔다고 할 수 있다. 이 기술의 시대인 18세기와 19세기 사이에도 기계는 매우 느린 속도로 발명되었으며 주로 전쟁과 같은 역사적인 사건들을 통하여 발전이 이루어져왔다. 그러나, 1960년대 중반부터 기계는 예전에 볼 수 없었던 비약적인 발전을 거듭하게 된다. 예로 내연기관은 선반 기계가 처음 개발된 이래, 약 1세기에 걸친 오랜 연구를 통해 1918년 처음 개발되었다. 선반과 내연기관, 이 중요한 두 기계는 거의 150년이라는 간격을 두고 개발되었는데, 이것은 지금의 과학기술 개발의 속도로 짐작해볼 때 너무도 긴 기간이었다. 이후, 1946년에 개발된 최초의 컴퓨터 에니악(Electronic Numerical Integrator and Calculator)과 1947년에 개발된 트랜지스터는 이전과는 전혀 다른 기계에 대한 개념을 갖게 해주었다. 이것들은 기계의 기능과 성능 그리고 신뢰성과 다양성등에 있어서 혁명적인 변화를 가져오게 되는 밑거름이 되었다.

기계에 자율 제어(automatic control)라는 개념이 처음 도입 된 것은 새로운 기계의 형태가 도입되고 급속한 자동화가 시작된 1950년대로부터라고 할 수 있다. 수치제어 기계(NC machine), AGV(auto-matic guidance vehicle) 그리고 로봇은 1950년대와 60년대 사이의 기간동안 출현한 자율 기계의 한 예가 될 것이다. 1971년 호프에 의해 개발된 마이크로 프로세서(Intel 4004), 그리고 1977년에 처음 개발된 개인용 컴퓨터의 경우를 생각해보자. 이 기간 동안에 컴퓨터와 기계의 통합이라는 개념은 점차 중요하게 되었으며, 이것은 각각 기능성과 성능의 개성 그리고 신뢰성을 증가 시켜준다. 이러한 통합의 가장 중요한 면은 기계는 더 능숙하게 주어진 일을 할 수 있으며 또한 성능의 개선으로 계속 크기가 작아진다는 것이다. 이 마이크로 프로세서로 제어되는 기계는 더 높은 품질과 더 높은 신뢰성을 계속해서 추구하면서 모든 영역에서 끊임없이 개발되어 왔다. IC 생산 장비의 지속적인 발전은 이러한 요구에 대한 한 예가 될 것이다. 이 IC 생산 장비의 발전으로 인해 작은 사이즈의 전자 기계 시스템의 개발 초소형의 마이크로 기계의 생산에 결정적인 역할을 하였다.

오늘날 구현 가능한 기능성의 수준은 많은 제약점과 한계를 가진다. 예를 들자면, 기계는 그 자신 스스로 불확정성을 극복할 수 있는 능력을 갖추지 못했으며 또한 작동중에 일어나는 환경의 변화와 같은 복잡성을 극복하기 어렵다. 이러한 이유로 현재의

기계는 정밀도와 반복성의 문제에 있어서 여전히 해결해야 할 문제점들을 많이 가지고 있으며 이것은 기계의 작동 그리고 유지 기술과 같은 부분에서 새로운 패러다임이라고 불릴 수 있는 기능들을 요구하고 있다[2].

3. 기계 특성들의 혁명적인 변화

앞장에서 언급한 바와 같이 미래에 기계가 갖추어야 할 특성들을 살펴보는 것은 기계의 발전 방향에 대한 좋은 예측을 할 수 있도록 도와줄 것이다. 여기에서는 기계가 갖추어야 할 기본적인 발전 추세들을 이야기 하고자 한다. 기계의 역사를 살펴보면 기계의 발전 추이들에서 공통적으로 포함되는 특징들을 여기에서는 아래와 같은 다섯 개로 정리해 보았다.

3.1 소형화 (miniaturization)

기계의 성능이 증가함과 더불어 기계의 크기는 점점 작아지고 있다. 최초의 전자 계산기인 ENIAC의 경우에 무게는 30톤, 진공관이 무려 1만7천4백68개나 사용되었으며 크기는 거대한 집채만한 크기로 제작되었으나, 수 십 년이 지난 지금 컴퓨터의 크기는 축소되었으며, 그 성능은 크기가 작아짐에 반비례하여 점점 커지고 있다. 이제 기계 제작자는 크기의 제약을 과거에 비해 덜 받고 있으며, 앞으로는 분자의 단위를 다루는 기계가 개발될 전망이다.

3.2 정밀성 (precision)

기계의 성능을 평가하는 데 있어서 정밀성은 주어진 작업을 얼마나 잘 수행했는가 하는 중요한 평가 기준이 된다. 예전에는 정밀도의 정도를 가진 정밀 기계는 작동범위나 파워에 있어서 한계를 가지고 있으며 고 정도의 작업을 수행할 경우에는 오직 작은 영역의 기계 운동 영역에서만 조작이 가능했다. 미래에는 기계는 정밀도에 있어서 초정밀도를 구현할 수 있게 되어 제품의 크기나 파워 그리고 구동기의 이동 범위들에 대한 제한을 점차적으로 없애갈 수 있을 것이다.

3.3 지능 (intelligence)

현대에 있어서, 기계의 지능이라는 단어는 더 이상 낯선 단어로 들리지 않는다. 물론 '지능을 가진 기계란 무엇을 의미하는가?'하는 질문에 대답하는 것은 쉬운 것은 아니다. 그러나, 이것을 정의하는 한 가지 방법으로 지능을 기계가 주어진 변화에 적응할 수 있는 가능성이라는 다소 추상적인 방법으로 정의하고자 한다. 이러한 간단한 정의로부터, 기계가 특정한 작업을 하는데 인간 작업자의 도움을 받지 않고 그림 1과 같이 앞에서 정의된 각각의 기능성들을

사용하여 불확실한 작업을 수행할 때 갖고 있는 능력이라고 정의할 수 있겠다. 따라서 자율적인 행동은 기계가 불확실한 환경, 작업의 조건 모델링, 자기 구성, 강인성 그리고 확장성 등과 같은 특성을 필요로 한다[4]. 오늘날 뇌과학의 발전에 힘입어서 인공지능은 인간의 지능을 모사하려는 노력을 하고 있으며 가까운 미래에는 컴퓨터가 인간과 동일하거나 보다 나은 수준의 지능을 제공할 것이 기대된다. 대략적으로 이야기해서, 기계는 학습기능, 의사 결정 기능과 같은 사고 기능을 부분적으로 갖추어 갈 것이다.

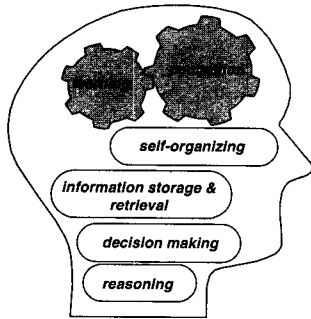


그림 1. 미래 기계의 지능.

3.4 환경 친화 (environmental consciousness)

현재의 기계에 의해서 생산되는 생산품들은 우리가 살고 있는 환경에 대해 친화적이지 않고 파괴적이라고 할 수 있다. 기계의 운용에 따른 소음과 공해, 그리고 사용되어 폐기된 기계는 환경에 심각한 문제를 더하여 준다. 미래의 기계는 이러한 소음과 공해를 유발하지 않아야 하며, 더 나아가 생산품과 기계의 부품들은 다시 사용할 수 있거나 환경 친화적인 기술을 바탕으로 생산되어야 한다. 따라서 사용이 끝난 기계를 분해하여 이것을 쉽게 각 부품별로 구분할 수 있어야 하며, 또한 새로운 재료를 바탕으로 환경 친화적인 기계를 제작할 수 있을 것이다.

3.5 인간 중심 시스템 (human-oriented system)

과거에는 기계들은 기계와 인간들의 인터페이스에 대한 고려가 부족하여 기계 중심으로 설계되었다고 할 수 있다. 이러한 결과로서, 인간 작업자는 기계를 다루기 어렵거나 불편함을 느껴왔고 또한 기계와 적절하게 인터페이스를 하거나, 기계의 동작 원리를 이해하는데 어려움을 겪어왔다. 따라서 인간과 컴퓨터 그리고 정보 이 세가지 요소의 조화라는 문제는 미래 기계의 사용에 있어서 중요한 요소가 될 것이다. 예를 들어, 소프트웨어 레벨에서의 조화는 인간과 컴퓨터의 인터페이스 시에, 인간이 이해하기 쉬운 시각적인 정보를 제공해준다면, 기계의 작동의 과정과 기계가 생산해내는 유용한 정보를 이해하는데 큰 도움이 될 것이다. 이러한 것이 가능하기 위

해서는 기계의 각 요소들에 대한 개발뿐 아니라 그림 2과 같이 전체적인 통합시스템의 관점에서 기계를 설계하고 제작하는 것이 중요할 것이다.

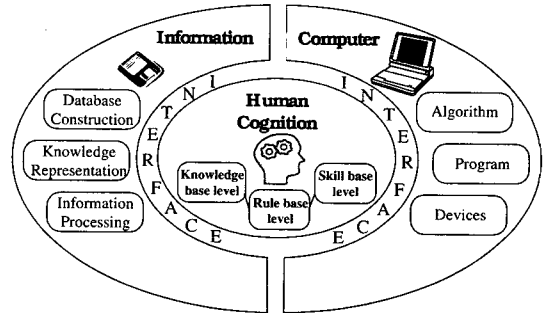


그림 2. 인간 중심의 기계 시스템.

4. 미래기계의 기본적인 기능성들

현재의 기술로는 기계가 완전 자율성을 확보하기 위해서 몇 가지 한계점들을 극복해야 한다. 즉, 기계의 소프트웨어와 하드웨어에서의 기계의 유연성 및 민첩성, 작업의 수행에 있어서의 높은 수준의 지능성과 자율성 등이 기계가 완전 자율성을 갖기 위해 갖추어야 할 것들이다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 기능적인 면에서 어떤 것들을 가져야 하는지 살펴보기로 하자. 아래에는 기계의 자율성을 얻기 위해 필요하다고 생각되는 각각의 기능들을 기능성 (functionality) 이라고 정의하고 그 역할들을 살펴보았다.

여기에 관심을 갖고자 하는 부분은 기계 메커니즘과 소프트웨어에 있어서 유연성과 신속성의 부족, 그리고 기계에 의해 수행되는 작업의 지능과 자율성의 낮은 수준, 기계상태 모니터링의 성능 부족, 기계상태와 작업 수준의 측정에 있어서의 낮은 정확도, 기계와 기계, 기계와 환경에 대한 불충분한 친밀도 등이다.

작업요구와 작업 환경이 바뀔 때마다 메커니즘과 소프트웨어는 이러한 변화에 대해 적응할 수 있는 유연성과 신뢰성을 필요로 한다. 현재 인간 작업자가 요구되는 작업들을 수행하기 위해서는 지능과 자율성은 더욱더 강화될 필요가 있다. 기계 건강/작업의 모니터링은 고도의 작업을 수행할 경우에 증가해서 필수적이다. 다른 기계와 인간 작업자 그리고 주어진 환경에 대해 상호 협동은 최근 들어서 주어진 작업 환경조건 아래에서 기계의 효율성과 사용빈도를 증진시키기 위해 중요한 요소이다. 이러한 필요를 만족시키기 위해서 기계들은 그림 3에서 나타내고 있는 바와 같이 4개의 중요한 카테고리 기능성 모듈들을 소유하도록 변화할 것이다.

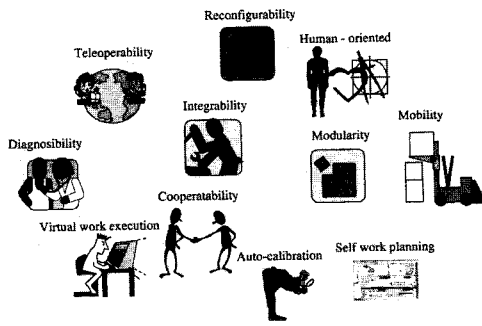


그림 3. 미래 기계가 가져야 할 기능성들.

그림 4에서 보는 바와 같이 이 카테고리들은 (1) 모듈성, 기계구조의 변경 가능성, 이동성 그리고 통합성 등과 같은 발전된 기계 메커니즘과 소프트웨어 (2) 입력 인식, 자기 작업 계획, 가상 작업 수행, 자기 보정, 공정상태/작업 품질의 측정, 원격 조작등과 같은 기능을 소유함으로써 가능한 기계작업의 자율성과 지능성 (3) 건강/작업/환경의 모니터링과 결함 검출과 허용오차 성능의 검증, 환경의 인식과 같은 진단 작업, (4) 다른 기계들과의 상호 협동과 효과적이고 쉬운 인간과 기계와의 협동을 통한 외부와의 친화성이다. 다음에는 이러한 기능 모듈의 각각에 대해서 정의와 각각의 역할 그리고 그것들을 가능하게 하는 기술들에 대해 좀 더 자세하게 이야기 하고자 한다. 이러한 기능의 모듈들을 그림 5에 나타내었다.

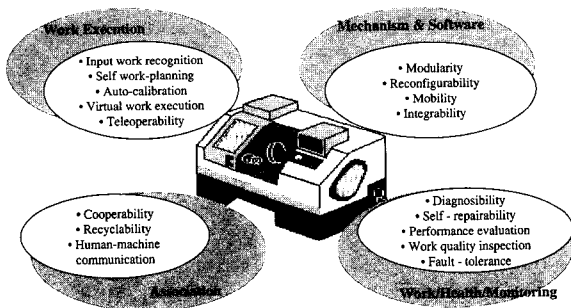


그림 4. 미래 기계에 필요한 기본적인 기능성들.

4.1 메커니즘과 소프트웨어

이동성(modularity)

기계는 종종 다른 작업을 다른 장소에서 수행해야 할 필요가 있다. 이 경우에 한 장소에서 다른 장소로 이동하는 이동성을 가져야 한다. 이를 갖기 위해 기계는 전원을 자신의 내부에 갖추어야 하고 주어진 경로로 이동할 수 있는 자기 이동이 가능해야 한다.

자기 구조 변경성 (reconfigurability)

기계의 구조를 바꾸는 한가지 방법은 기계의 모듈화된 부분을 이동시키는 것이다. 여기에서 자기 구조 변경성은 기계의 부품들을 다시 재배열시키는 것이다. 이러한 구조 변경된 기계는 기계의 구성과 기계의 소프트웨어의 제어를 통해서 일반적인 목적 또는 다 기능 작업을 수행할 수 있을 것이다. 기계 메커니즘의 전체 구조와 부분적인 부품은 로봇 매니플레이터와 같은 방법으로 기계 구조의 재구성이 가능할 것이다. 최근에 관심이 고조되고 있는 스투어트 플랫폼을 기반으로 하는 도구들은 로봇의 매니플레이터와 같이 구조를 원하는 대로 바꿀 수 있는 형태를 가진다. 주어진 작업의 성격이나, 동작의 숙련에 필요한 지그, 고정틀, 도구와 같은 부가적인 기구들은 구조의 재구성이 가능할 것이다. 필요한 작업들은 더 복잡해짐에 따라 재구성성은 미래기계가 소유해야 할 핵심 기술의 하나가 될 것이다.

모듈화성 (modularity)

여기에서의 모듈화는 기계의 성능과 관계되는데 이는 소프트웨어와 하드웨어, 모두에 해당한다. 모듈화된 기계는 기계가 가지고 있는 성능, 기능성 그리고 조작성에 따라 매우 다른 구조로 다르게 재구성할 수 있다. 이 개념은 하드웨어 뿐 아니라 소프트웨어에서도 적용될 수 있다. 모듈화된 소프트웨어는 많은 서로 다른 기본 소프트웨어의 서브 시스템으로 재형성 될 수 있는 소프트웨어 구조를 갖는다.

통합성 (integriability 또는 extendibility)

기계는 새로운 기술과 새로운 기능성을 포함하여 충분한 정도의 기술을 통합할 수 있다. 이것은 기계의 하드웨어/소프트웨어 구조의 확장성이 요구된다. 다른 말로 바꾸어 이야기 한다면, 이미 존재하는 것에 새로운 부분을 더하여 새로운 기능을 포함 시켜 이 기능을 통합하거나 새로운 기능성의 생성을 유도할 것이다. 만약 이러한 통합성이 가능하다면, 새로운 성능을 갖는 기계의 발전이 가능하고 이것은 미래에 새로운 기술을 창출하는 것을 가능하게 할 것이다.

4.2 작업수행

입력 작업 인식성 (input work recognition)

현재, 수행할 작업을 프로그램이나 작업 지시서의 형태로 기계에게 주어지게 된다. 이것을 지능화 하기 위해서는 인간 작업자는 기계에 의해 수행되어야 할 일이 어떤 종류의 일인지 이해할 필요가 있다.

예를 들어 머시닝 작업의 경우에 각 작업에 대한 치수, 기계 부품의 표면 가능 정도 등에 대한 정보가 필요하고 기계 조작자들에 의해 주어져야 한다. 보통 이러한 정보는 CAD 데이터로부터 주어진다. 만약 이것이 가능하지 않다면, 측정과 같은 과정을 통해 역공학과 같은 방법으로 주어져야 한다. 기계는 작업의 패턴과 3D 토폴로지를 인식할 수 있는 능력이 주어질 것이다.

자기 작업 계획성 (self work-planning)

현재의 기계들은 주어진 작업은 인간 작업자가 작업순서나 작업 지시서를 통해 주어지며, 스스로 자신의 작업을 계획하고 스스로 조작하는 능력을 갖추지 못했다. 이러한 작업은 더 이상 필요하지 않을 것인데, 미래의 기계는 작업의 인식 기능과 이를 바탕으로 한 최적의 실행 계획을 수립하는 능력이 포함될 것이다. 이러한 것이 가능하다면, 기계는 수행 명령이나, 상태를 적절하게 생성하는 것이 가능할 것이다. 그림 5는 가상작업 수행성을 고려한 기계가공의 한 예이다

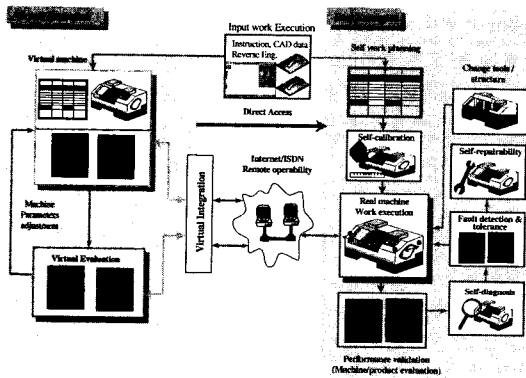


그림 5. 가상 기계의 가능성에 대한 실제 작업의 수행.

가상작업 수행성 (virtual work execution)

작업 수행 조건이 분석이 되고 기계에게 주어진다 면, 이것은 주어진 작업에 따라 수행된다. 이러한 성능에 기호하여 출력의 결과가 평가되고 이러한 작업 평가에 기반하여 실행조건이 원하는 결과를 얻을 수 있도록 조정될 것이다. 실시간으로 기계를 조정하는 것이 불충분하고 비용이 많이 들기므로, 이를 피하기 위해서는 가상의 공간에서 그것들의 성능을 평가하는 것이 필요하다. 이러한 기능성의 특징은 주어진 특정한 작업을 위해 최적의 기계 작동 조건을 찾는 것이다.

자기 보정성 (auto-calibration)

보정은 기계가 정확하고 적절한 성능을 발휘하기 위해 필요로 되는데 특히 기계의 구조가 변하고 모듈 구조와 결합해 그 중요성이 더해 질 것이다. 이것은 센서와 구동기 그리고 그에 맞는 적절한 알고리즘의 도움으로 가능할 것이다. 보정의 정확성은 앞의 기능들을 적용하는 방법과 센서에 의해 들어온 데이터의 자기 평가와 수정에 의해 가능할 것이다.

원격 조작성 (remote-operability)

생산 공정에서 기계의 동작의 시작은 푸쉬 버튼을 누름으로써 시작되는 것은 아니다. 더불어 작업 조건의 변화는 원격 사이트로부터 가능할 것이다. 또한 모니터링과 진단의 결과는 원격 사이트에서 사용할 수 있어 이것을 바탕으로 원격적으로 조정될 것이다. 이러한 가능성은 기계내의 전체적으로 자동화를 가속화 시키고 미래 기계의 생산 시스템을 무인화 시키는데 도움이 될 것이다.

4.3 건강/작업/모니터링

결함 조절성 (fault-tolerance)

기계의 고장은 위험한 상황이나 큰 손실을 유발할 수 있다. 이를 피하기 위해서는 기계 진단이나 사전 진단이 필요하다. 만약 고장 상황이 분석된다면, 기계는 보정기술이나 이미 준비되어 있는 여분의 부품을 이용하여 이러한 결함을 최소화 할 수 있는 조치를 취할 수 있을 것이다.

진단성 (diagnosability)

모니터링된 데이터에 기반하여 진단작업을 기계 각 부품의 작업 상태, 조작성, 이상동작, 결함 그리고 건강 지수와 같은 기계 상태를 점검하는 진단작업을 수행할 것이다. 이 기능성은 기계의 처음 시작으로 부터 기계의 수명을 예측할 뿐 아니라, 다음 작업의 기계의 상태 등 또한 예측할 수 있을 것이다.

성능 평가 (performance validation)

기계는 그들의 성능과 작동중에 생산되는 생산품의 품질을 평가할 수 있다. 이러한 평가작업의 결과는 작업 계획과 입력상태의 순간적인 보정을 하는데 사용할 수 있으며, 필요하다면, 하드웨어와 소프트웨어의 형상을 재구성하고 다른 기능성들을 필요한 성능과 품질의 구도와 정확하게 만들 것이다.

4.4 외부 세계와의 친밀성

두개나 이상의 기계들은 유기적으로 협동하는 것을 대상 작업을 더 효과적이고 성공적으로 수행할 수 있게 할 것이다. 이것은 생산 공정에 대해서 특별히 적용된다. 이러한 환경에서 작업의 분배는 협동 작업의 기본적인 목표이다. 다른 목적은 한 개의 기계로는 가능하지 않는 새로운 기능을 생성해내는 것이다. 이러한 협동 작업이 가능하기 위해서는 생산에 참여하는 기계는 다른 기계에 대해서 협상하거나, 기계의 구조를 바꾸고 적절한 작업 계획을 세우는 것이 필요하다.

인간과 기계의 대화 (human-machine communication)

인간과 기계 또는 기계와 기계의 대화의 방법은 미래의 기계가 수행하는 작업이나, 협동성 그리고 모듈화의 정도에 따라 결정될 것이다. 인간과 기계의 상호 대화의 가장 바람직한 형태는 인간의 자연어를 이용한 대화일 것이다. 이것이 기계에 장착이 되면, 인간과 기계는 매우 쉬운 방법으로 상호 대화를 하며, 주어진 작업을 효과적으로 수행할 것이다.

재 사용성 (recyclability)

대부분의 기계는 기계 부품의 재구성에 사용할 수 있도록 재사용을 위한 리사이클성이 필요하게 될 것이다. 이것은 기계가 다시 사용할 수 있도록 부품으로 분해하거나, 해체하는 모듈화와 표준화로 이것이 가속화 할 것이다. 재 사용성은 재사용을 통해 생산품을 생산하는데 중요한 기능이 될 것이다.

5. 가능 기술들 Enabling Technologies

과거의 기술변화를 돌아보면, 20세기의 처음 20년 동안의 발전은 19세기 동안의 기술과 깊은 과제가 있음을 알게 된다. 지금은 이러한 변화는 수년이나, 10년 미만의 짧은 기간이 걸린다. 지금은 보편화된 WWW(world wide web)나 저장기술의 비약적인 성장을 이룩한 CD-ROM 등에서 이러한 예를 찾아볼 수 있다. 이러한 혁명적인 발전으로 볼 때 오늘날의 기술은 조만간 옛날의 기술이 될 것이다. 이러한 변화를 가능하게 한 기술은 미래와 동일한 형태로 경험될 것이다. 우리는 여기에서 미래 기계와 결합될 가능 기술들의 경향을 이야기 할 것이다.

계산 속도 Computing speed [1]

계산속도의 증가비율은 비약적으로 발전하고 있으며 단위 비용당 컴퓨팅 파워는 매년마다 2배가 된다. 1000달러에 가능한 1초당 계산 횟수는 2020년에는

10¹⁰에 이를 전망이다.

프래그래밍 지능 Programming intelligence

기계에 인간의 지능수준의 지능을 이루기 위해 인간의 지능을 흉내내기 위한 시도가 계속되고 있다. 이러한 시도는 컴퓨터 프로세스의 법칙이나 복잡한 계산 이론, 신경회로망, 진화 연산 인간 두뇌의 역공학 (고해상도의 MRT의 이용) 그리고 두뇌의 연결과 뉴로 트랜스미터의 연결을 이용한 모니터링이 포함된다.

반도체 Semiconductor [10]

현재의 발전 변화를 참조해 볼 때 트랜지스터의 최소 크기는 현재의 0.35 μ m에서 2010년의 0.07 μ m에 이를 전망이다. 또한 어떤 종류의 바이오 칩이 개발되어 10¹² 바이트의 고 메모리가 가능해지고 홀로그래픽 메모리 (holography memory) 또한 사용되어 질 것이다.

통신 네트워크 Communication network [11]

광섬유 네트워크는 기본적으로 구리선에 비해 10에서 100배 정도의 속도로 목소리, 비디오, 그리고 데이터를 전송할 것이다. 2005년에는 디지털 정보가 1초당 10G 바이트의 속도로 전송될 것이다. 또한 2010년에는 밀리웨이브(mili-wave) 기술을 이용한 고속의 이동, 통신 네트워크가 실현될 것이다.

가상현실 Virtual Reality [12]

소프트웨어와 계산능력이 향상될수록 가상현실은 그 응용범위를 넓혀갈 것이다. VR의 사회적인 사용은 다음과 같은 예에서 찾아볼 수 있다. 사람들은 그들의 상호작용을 나눔으로 가상세계 안에서 살 것이다. 햅틱 기구(haptic device), 스마트 센서(smart sensor), 디스플레이 기술의 발전, 윈도우 그리고 데이터 조작 기술과 같은 기술들은 실제적인 가상현실에서 더 빨라지고 스마트해질 것이다.

소프트웨어 Software [1]

소프트웨어의 변화는 컴퓨터의 상호 작용하는 사람들의 물리적 방법의 변화에 밀접한 관련이 있다. 키보드의 조작과 마우스의 조작 등과 같은 방법보다는 사람은 기계에 말이나 제스처로 대화가 가능하게 될 것이다. 이를 위해 가까운 미래에 연구자들은 사용자들을 서로 연결해주는 소프트웨어 에이전트들을

생성해낼 것이다.

나노 테크놀로지 Nanotechnology [13]

생산품은 분자로부터 만들어진다. 이러한 생산품의 성질은 분자의 배열 구조에 따라 달라지게 된다. 나노 테크놀러지에 대한 지난 수 십 년간에 걸친 선진적인 연구에 의해 21세기에는 나노기술(nanotechnology)은 주도권을 가지고 기술을 이끌어갈 것이다. 우리는 분자들을 원하는 수준으로 쉽고 값싸게 재배열하는 기술을 보유하게 될 것이다.

전자 눈과 전자 코 Electron eye and nose [14,15]

미래기계는 외부의 환경과 기계의 상태를 모니터링 할 수 있는 강인하고 정확한 센서시스템을 필요로 한다. 이 전자 눈과 전자 코는 미래기계의 지능을 한층 더 높여줄 수 있을 것이다. 2010년에는 시각 정보를 얻고 해석할 수 있는 한층 더 진일보한 전자 눈이 개발될 것으로 예상된다. 이것은 또한 오늘날 시각 이미지의 저장 및 전처리 그리고 디스플레이에 대한 욕구를 만족시켜줄 수 있을 것이다. 또한 최근 몇 년 동안 전자 코에 대한 연구가 비약적으로 증가하고 있다. 2015년에는 한 개의 칩으로 구성된 전자 코가 출현할 것인데, 이러한 센서는 한 개의 칩에 모든 필요한 기능을 구현할 수 있을 것으로 보인다. MEMS 기술은 이러한 기술에 대한 기대감을 더 크게 하는데, 이 기술에 기반하여 센서 시스템의 대량 생산과 기계에의 응용이 가능하리라고 본다.

스마트 센서/ 센서 퓨전 Smart sensor / sensor fusion [16]

스마트 센서의 폭발적인 발전은 전자 기술에 기반되는데, 마이크로 머시닝과 집적 회로 기술은 MEMS와 MEOMS (micro-electro-optomechanical system)와 더불어 이 기술의 핵심이라고 할 수 있다. 바이오 센서, 마이크로 센서, 가스 센서, 다기능 센서 그리고 지능 센서는 가까운 미래에 널리 쓰일 것으로 예상된다. 또한 현재 측정할 수 없는 정보 또한 이러한 센서 융합 기술을 통해 효과적으로 측정해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

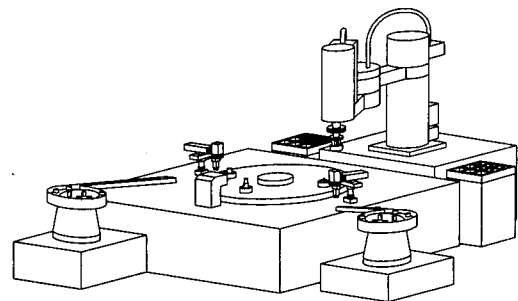
6. 미래 기계 : 조립 기계

미래에 기계가 어떻게 변화할 것인가의 예를 조립 로봇을 통해 예측해 보자. 현재, 조립 공정은 최종 생산품을 생성하기 위해 다음과 같은 몇 가지 기본적인 공정을 거친다. (1) 조립 순서의 생성 (2) 작업 계획 (3) 부품 공급 (4) 부품의 준비 (5) 부품 인식 (6) 부품 조립 그리고 마지막으로 (7) 조립된 부품의

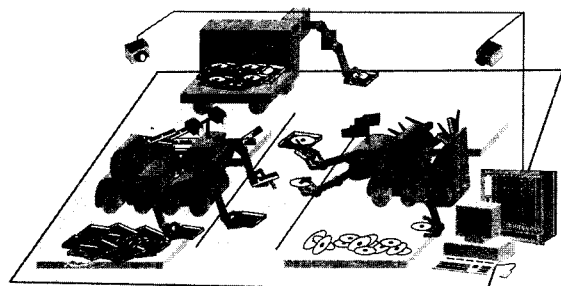
검사이다. 여전히 대부분의 조립 작업들은 이러한 기본적인 작업들로 이루어진 길고 지루한 과정을 거쳐 조립을 수행하게 된다.

이러한 세부 작업들로 이루어진 기계 장치들과 부대 시설들은 보통 복잡한 정렬 과정을 통해서 설치되고 이러한 시설들은 생산품목의 조그만 변화에도 긴 시간과 고비용을 들여서 작업 순서를 조정하는 과정을 거쳐야 한다. 일부의 조립대는 로봇을 이용하여 적응 과정을 통해 이러한 어려움을 해소하고 있지만, 이러한 조립 공정의 난점을 해소하는 데에는 현재의 기술로는 해결해야 하는 많은 문제점들을 가지고 있으며 따라서 미래에는 이러한 부분들이 많이 개선될 것이다. 그림 6(a), (b)는 조립 기술의 발전에 대해 현재와 20년 후의 미래의 모습을 도식적으로 표현해본 것이다. 이 그림들은 현재의 기술과 미래의 기술이 어떻게 다른지 명확하게 보여준다. 앞에서 이야기했던 각각의 기능성들이 현재의 기계에서는 부분적으로 구현되고 있지만 미래의 기계에서는 많은 부분들이 구현될 것으로 보인다.

현재의 조립 기술은 기계들이 잘 조정된 작업 환경에서 각각의 공정순서대로 정렬되어 있으며 순차적으로 입력된 명령에 의해서 수행된다. 즉, 잘 조직된 방법으로 주어진 환경에서 기계가 작업을 수행하게 된다. 그러나 향상된 조립 시스템은 약 20년 이후에 가능하리라고 예측된다. 그림 6 (b)는 두 대의



(a) 현재



(b) 20년후

그림 6. 조립 공정의 변화 예측

기계가 조립 작업을 위해 서로 협동하는 모습을 그리고 있는데 이것은 현재의 조립 기계의 운용과는 다른 것이다. 또한 모든 부품 공급 작업이나 방향 정렬과 같은 작업이 사라지고 모든 부품과 필요한 공구는 정렬되지 않은 상태로 기계에게 주어진다 하더라도 기계는 이를 센서를 통해 인식하고 적절한 판단을 바탕으로 조립작업에 임하게 된다. 이 작업 환경에서는 두 대의 기계는 서로에게 부품을 전달하고 조립 작업을 행하며 서로에게 정보를 대화를 통해서 제공해준다. 이러한 작업환경이 의미하는 바는 앞에서 이야기한 기능성들의 대부분을 바탕으로 해서 조립작업을 하는데 환경에 기계가 충분히 적응하는 것을 보여준다.

7. 결론

이 논문에서 우리는 미래에 기계가 갖게 될 특성들을 과거로부터 현재로 이어지는 기술의 변화를 고찰해봄으로써 전망해 보았다. 또한 기계의 발전 추세는 기술 변화의 놀라운 변화속도를 고려하여, 가까운 미래의 기계의 모습을 예측해보았다. 이러한 추세를 만족시키기 위한 기계의 기본적인 기능성들을 자세히 설명하였다. 모듈화, 가상성, 자기 진단, 기계 구조의 변화, 원격 조작성 그리고 다른 기계와의 협동성과 같은 기능성들을 포함한다. 이러한 기능성들이 인공지능과 융합 된다면, 오늘날 기계가 다룰 수 있는 불확실성과 복잡성의 정도보다 훨씬 뛰어난 성능을 가진 기계의 출현을 21세기에는 기대할 수 있을 것이다. 또한 이러한 지능을 가진 기계는 높은 수준의 자율성이 필요로 하게 되고 또한 기계는 스스로 사고하고 배울 수 있는 그래서 인간의 감정까지 이해할 수 있는 정도의 기능을 갖출 것이다.

참고 문헌

- [1] Scientific American, "Key technologies for 21st century", Sep. 1995.
- [2] H.S. Cho and M.C. Leu, "Artificial Neural Network in Manufacturing Processes: Monitoring and Control",

김 병 만

1993년 한국과학기술원 기계공학과 졸업. 1996년 한국과학기술원 기계공학과 석사 졸업. 1996년 ~ 현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정 재학중. 관심 분야는 신경회로망, 인공지능, 비전을 이용한 검사 장치 등.

IFAC Symposium on Information Control Problem in Manufacturing, Nancy-Metz, France, 1998.

- [3] Next generation manufacturing project, National roll-out conference, Texas USA, 1997.
- [4] H. S. Cho, "The future machine : A perspective view", Korea-Japan workshop on Advanced Mechantronics, Taejon, Korea, Nov. 1998.
- [5] H. Fujimoto and L. Chen, "Harmony between the human and computer systems in human oriented manufacturing system", Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, Kobe, Japan, 1994.
- [6] Y. Koren and A.G. Ulsoy, "State of the art in reconfigurable manufacturing system (RMS) ", Vol.1, The University of Michigan, 1997.
- [7] P. M. Noaker, "The PC's CNC transformation", Manufacturing Engineering, pp 49-53, August. 1995.
- [8] C. H. Khang, "Machine tool technology", J. The Korean Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 8, pp 9-25, 1996.
- [9] U. Remboldt, T. Lueth, and A. Hörmann, "Advancement of Intelligent Machines", International Conference on Advanced Mechatronics, Tokyo, Japan, 1993.
- [10] L. Geppert, semiconductor lithography for the next millennium, IEEE Spectrum, pp 33-38, April, 1996.
- [11] C. Bates, Machine tools with connections, American Machinist, pp 62-74, 1997.
- [12] J. M. Zheng, "Virtual Reality", IEEE Potentials, pp 20-23, 1998.
- [13] Nano technology magazine, <http://planethawaii.com/nanozine>
- [14] H. T. Nagle and R. Gutierrez-Osuna, The how and why of electronic noses, IEEE Spectrum, pp 22~34, Sept. 1998.
- [15] R. Braham, Toward an artificial eye, IEEE Spectrum, pp21-29, May, 1996.
- [16] G. C. M. Meijer, "Concepts and focus point for intelligent sensor systems", Sensors and Actuators A, pp 183- 191, 1994.

조 형 석

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 4권, 제 1호 참조.