

CASE 기술특집 : 21세기의 자동화기술(1)

생산 방식의 변화와 제조 시스템의 발전

김종원

서울대학교 기계설계학과

1. 서론

제조기술은 한 나라의 경쟁력 강화에 중요한 요소이다. 또한 제조기술은 끊임없이 변화한다. 그러면, 제조기술은 어떠한 메커니즘으로 변화하며, 미래의 제조기술은 어떠한 형태로 발전되어 갈 것인가? 본 글에서는 생산 방식의 변화와 이에 따른 제조 시스템의 발전에 대하여 생각하여 보기로 한다.

먼저 제조 시스템의 정의에 대하여 기술한다. 여기서, 제조라 함은 영어로 'manufacturing'이며, 그 어원은 'manu + factus'로서 '손으로 만들다'는 의미이다. 즉, 손으로 만드는 활동을 넓은 의미의 제조라고 할 수 있다. 여기서는, 공장 내에서 이루어지는 가공, 조립, 검사, 운반 공정과 그 공정들을 지원하는 공장 내의 간접 부서들, 예를 들어, 생산 기술부, 공정 관리부 등에서 담당하는 업무들을 모두 포함한다.

한편, 생산 또는 'production'은 공장 내에서의 제조 활동을 포함하며, 설계, 자재 관리, 생산 관리, 영업, 마케팅, 연구소, 경영관리 등 전체 회사의 활동을 포함한다. 그러나, 이러한 생산과 제조의 의미는 사람마다 반대로 또는 동등하게 사용하기도 하므로, 절대적인 구분이 될 수는 없다. 다만, 본 글에서는 위와 같이 구분하기로 한다. 따라서, 이러한 의미에서는, 제조업이 아니라 생산업, 생산 관리가 아니라 제조 관리, 생산 기술부가 아니라 제조 기술부, 유연 생산 시스템 (FMS: Flexible Manufacturing System) 이 아니라 유연 제조 시스템이라고 불리어져야 위의 정의에 맞게 된다.

제조 시스템의 정의에서 시스템이라는 용어는 우리가 관심 있는 범위 내에 존재하는 모든 사물이라고 정의

된다. 따라서, 관심에 따라서 시스템은 사람마다 다르게 인식된다. 여기서는 편의상, 제조 활동에 사용되는 단위 요소들인 기술, 도구, 기계, 설비, 컴퓨터 소프트웨어 등과 이러한 단위 요소들이 연결된 제조 라인 등을 모두 통칭하여 제조 시스템이라고 부르기로 한다.

정리하면, 생산 방식이라 함은 제조업체의 경영, 생산 관리, 설계 개발, 자재 구매, 영업, 공장 관리, 제조 공정 등의 회사 전체 조직에서의 활동 양식을 의미하며, 제조 시스템은 제조 공정 (가공, 조립, 검사 공정)에 직접 관련된 제반 활동, 기술 및 설비 등을 의미한다.

2. 21세기의 생산 방식 예측

산업 혁명 후, 1800년대에 형성되기 시작하였던 수공업 생산방식 (batch production) 으로부터 1900년도에 들어 서며, 헨리 포드에 의하여 대량 생산 방식 (mass production) 이 탄생하고, 1950년대에 일본의 토요다 자동차를 중심으로 적시 적량 생산 방식 (lean production) 이 고안되었다.

이러한 생산 방식의 변화는 <그림 2.1.>과 같은 도표로 잘 설명될 수 있다. 이 도표는 이미 많이 알려진 도표이다. 그러나, 이 도표에서, 생산 방식에 따른 모델당 제품 수요의 변화 이외에, 두 가지 사항을 더 주목할 필요가 있다.

먼저 주목할 점은 새로운 생산 방식이 출현하면, 그 이전의 생산 방식이 도태되는 것이 아니라, 여러 가지 생산 방식이 공존한다는 사실이다. 이것은 생산하려고 하는 제품의 모델 종류가 몇 종류이고, 제품 모델 당

생산량이 얼마인가에 따라서, 최적 생산 방식이 결정되기 때문이다.

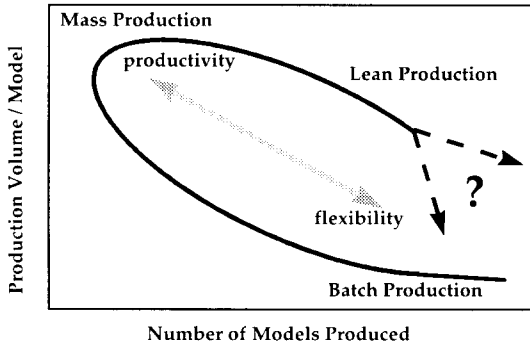


그림 2.1. 생산 방식의 변화와 생산 제품의 특성.

<그림 2.1>에서 적시 적량 생산 방식은 설계 부문에서는 동시공학 (concurrent engineering) 의 개념, 공장 운영에서는 직접 작업자의 다기능화, 부품 조달 체계에서는 간판 시스템을 이용한 적시 적량 공급 (just in-time supply), 판매 유통 체제에서는 total service 및 market-in 사상 등이 그 특징이며, 전체 부문 업무에서, 견실한 품질의 확보, 즉, Taguchi의 품질 공학을 기본 목표 및 철학으로 하고 있다. 따라서, 시장 환경이 다품종 소량 생산의 방향으로 진행될 때, 가장 경쟁력이 있는 생산 방식이다.

여기서, 두 번째로 주목할 점은, 과연 21세기에 출현할 생산 방식은 과연 무엇인가 하는 문제이다. <그림 2.1>에서 알 수 있듯이, 현재 대량 생산 방식으로부터 적시 적량 생산 방식의 시대로 발전하여 왔다. 생산 방식의 발전의 관성을 생각한다면, 앞으로의 발전 방향은 점선으로 표시된 방향이다. 그 점선 화살표가 지향하는 방향은 결국 현재의 다품종 소량 생산의 시장 환경이 극단적으로 점점 심화되어, 고객마다 요구하는 제품이 서로 다른 시대가 된다는 의미이다. 이것은 결국 고객 주문 생산 시대가 다시 된다는 것을 뜻한다.

이러한 시대에 맞는 생산 방식을 예측하기 위하여 <그림 2.2>를 참조하여 보자. 새로운 생산 방식은 항상 창조적 개혁을 필요로 하였으며, 그 시대의 기반 기술들의 발전이 지원되어야 탄생하였다.

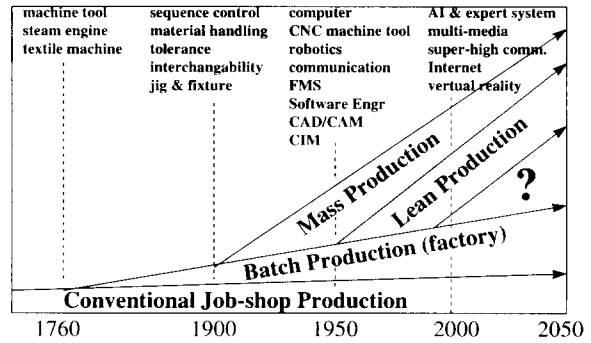


그림 2.2. 생산 방식의 탄생과 공존.

기술로 들 수 있지만, 호환성 확보 기술이야 말로 가장 대량 생산 방식의 탄생을 가능하게 한 기반수공업 생산 방식은 산업 혁명의 흐름 속에 섬유 기계, 증기 기관, 공작 기계와 고도로 숙련된 장인 기술에 근거하여 탄생하였으며, 대량 생산 방식은 공차론, 치공구 및 게이지류의 사용에 의한 기계 부품의 호환성 확보 기술로 탄생하였다. 물론, 물류 운반 기술과 time study 기법에 의한 과학적 공정 관리 기법도 지원 기술이다. 1960년에 들어서며, 컴퓨터, 제어 기술, 통신, 로봇, 그리고, 수치 제어 공작기계, CAD/CAM, 소프트웨어 등의 기반 기술들이 등장하였고, 이를 바탕으로, 적시 적량 생산 방식이 탄생하였다. 생산 부문에서는 컴퓨터 통합 생산 (CIM: Computer Integrated Manufacturing), 제조 부문에서는 유연 제조 시스템 (FMS: Flexible Manufacturing System) 이라는 대표적인 시스템이 적시 적량 생산 방식을 구성하고 있다.

그렇다면, 미래의 생산 방식을 예측하기 위해서는, 현재 발전되고 있는 기반 기술이 무엇인지 살펴 보아야 한다. 인터넷, 초고속 통신망, 광역 통신망, 멀티 미디어, 가상 현실 기술, 전문가 시스템 등을 들 수 있다. 또한, 주목해야 하는 기술은 객체 지향형 구조의 소프트웨어 개발과 표준화 작업을 통한 소프트웨어의 호환성 보장 기술이다. 이것은 하드웨어의 호환성 보장이 대량 생산 방식을 가능하게 하였던 것처럼, 21세기의 혁신적 생산 방식의 출현에 가장 큰 요인이 될 수 있다. 이러한 기반 기술을 바탕으로 탄생될 미래의 혁신적 생산 방식은 시장 환경의 발전 방향을 고려할 때,

고객 생산 방식 (Customer Production)의 형태라고 예측된다.

고객 생산 방식은 두 가지를 만족하여야 한다. 첫째는 고객에 의한 제품의 온라인 설계 (On-line Customer Design) 가 가능하여야 하고, 둘째는 고객이 설계한 제품의 현장 쾌속 제작 (On-site Rapid Manufacturing) 이 가능하여야 한다.

고객 생산 방식의 개념을 예시하기 위하여, 양복을 제조하는 제조업체가 어떻게 변하는지를 예로 들어 보자. 어느 고객이 양복을 구매하기 위하여, 어떤 매장을 찾아 가면, 먼저 레이저 스캐닝 부츠에 들어가서 자기 몸 전체와 얼굴 모양까지를 3차원 스캐닝시킨다. 이 스캐닝 데이터는 초고속 컴퓨터의 메모리에 저장되고, 고객은 컴퓨터 단말기에 앉아서 자기 취향의 양복 스타일과 원단을 컴퓨터가 제공하는 여러 가지 옵션에 따라서 설계하게 된다. [이 시대의 가장 유명한 양복 디자이너는 얼마나 전세계에 자기가 디자인한 양복 스타일 옵션 프로그램을 많이 팔았는지에 따라서 결정된다. 이 디자이너는 자기 컴퓨터에 특정 양복 스타일을 입력시키는 순간부터 얼마나 자기 디자인이 팔리고 있는지 알 수 있다.] 고객은 가상적으로 컴퓨터 상에서 양복을 입은 자기 모습을 이리 저리 돌려 보며 자기에게 가장 적합한 양복의 설계를 수행하게 된다. 일단, 설계가 완성되어, 설계 완성 입력을 명령하면, 수 분 뒤에 고객이 설계한 양복이 매장에 있는 양복 쾌속 제조 장치에 의하여 제작되어 나오게 된다. 이 시대에는 현재의 구미 공단의 거대한 양복 제조 공장의 개념은 사라지고, 세계적으로 분산된 쾌속 제조 매장들로 제조업체 현장이 구성된다.

만일 자동차가 이러한 고객 생산 방식으로 제조된다 고 가정하여 보자. 양복에 대해서는 가능할 것 같이 생각되어도, 자동차에 대하여는 더욱 상상이 힘들어 진다. 당연히 자동차의 고객 생산 방식은 여러 부문에서의 혁신적인 발전이 뒷받침되어야 한다. 초전도체에 의한 강력한 전기 모터의 개발과 가솔린 자동차로부터 전기 자동차로의 변환, 극단적인 모듈화 설계, 차체 신소재의 개발 등의 발전이 이루어져야 가능하다. 그리고, 회

사 전체 부문에서 혁신적인 변혁이 이루어져야 한다. 지금도, 한정적이고 고가 제품에 한해서, 고급 자동차, 대형 냉장고, 아파트 등에서 고객 주문형 제품을 판매 하기도 한다.

고객 생산 방식을 지원하는 제조 시스템은 현장 쾌속 제조 시스템 (RMS: Rapid Manufacturing System) 이다. 이러한 시스템은 지금 기술로는 매우 높은 제조 원가가 든다. 그러나, 이러한 제조 시스템을 대량 생산 한다면, 그 가격은 경쟁력 있는 만큼 떨어지게 된다. 이것은, 현재 마이크로소프트사가 응용 프로그램을 개발하는 수단인 PC용 Windows 95를 대량 생산하여 판매하는 것과 같은 개념이다. 오늘의 국내 굴지의 자동차 회사가 21세기에는 자기 브랜드의 자동차 현장 쾌속 조립 시스템을 대량 생산하여, 국내외 딜러 또는 대리점에 설치하는 일에 총력을 다 할 날이 올 지 모른다.

3. 제조 시스템의 발전과 전망

<그림 2.3.>에서와 같이 각 제조업체에서 채택하는 최적 제조 시스템은 그 회사에서 생산하는 제품의 종류와 모델별 생산 수량에 따라서 결정된다. 공작 기계용 부품인 주축대를 대량 생산 시스템인 트랜스퍼 라인으로 가공할 수는 없으며, 자동차의 가솔린 엔진 본체를 전통적인 기능별 배치 공장에서 가공할 수는 없다.

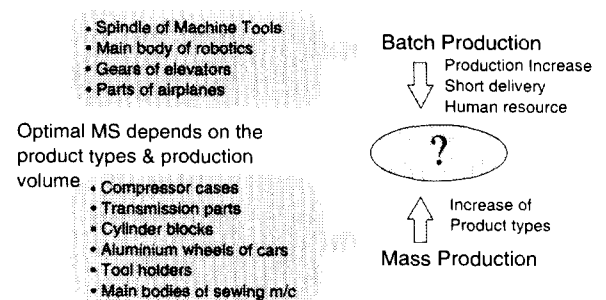


그림 2.3. 제품 종류와 모델별 수량과 이에 따른 최적 가공 시스템의 예.

그러나, 시장 환경의 변화에 따라서, 제품의 종류와

모델별 수량이 변화하는 경우, 전통적인 기능별 배치 공장에서는 숙련된 기능직 사원의 부족과 증가하는 생산량에 따라서 납기의 지연 문제가 심각하여 지며, 트랜스퍼 라인은 증가하는 모델 수에 대처하기 위한 빈번한 셋업 변경으로 재공량의 증가, 생산성의 감소와 납기의 지연 문제가 심각하여 진다.

이러한 경우에 대응하기 위하여, 혁신적인 아이디어를 창의적으로 현실화하여, 유연 제조 시스템이라는 개념이 등장하였다. 그 시초는 1960년대에 영국의 Molins사의 System 24이다. 이 시스템의 가장 중요한 개념은 주간에 작업자들이 소재를 팔렛에 셋업하여 자동창고에 저장해 놓게 하고, 야간 작업은 작업자가 퇴근한 상태에서 자동 공작기계들이 순차적으로 가공하여 다시 자동 창고에 넣는다는 개념이다. 이렇게 하여 24시간 동안 지속적으로 부품을 가공한다는 것이다. 여기서, System 24라는 명칭이 유래하였다. 이것은 1960년대에 가장 혁신적인 개념 창조이었으며, 이것은 1967년 David Williamson이 영국 맨체스터 대학 (UMIST)에서 발표한 System 24 - A New Concept of Manufacture 라는 학술 논문 제목에서도 알 수가 있다.

새로운 개념의 제조 시스템, 즉, 제조 시스템도 신제품 개발과 같이 창조 설계되어야 한다. 예를 들어서, 플라즈마 디스플레이 기법의 벽걸이 TV가 제품 연구소에서 시제품으로 개발되었다 하여도, 이제는 누가 적합한 제조 시스템을 창조 개발하여 성공적으로 운용하는가에 제조업체의 성공이 달려 있다. 이제 우리 나라의 발전이 이러한 수준에 도달한 경우, 제조 시스템을 아직도 단순한 지식과 자동화 설비와 컴퓨터의 결합만으로 가능하다는 개념을 가지고 있다면 큰 문제가 된다. System 24가 최초의 유연 제조 시스템이라는 사실을 아는 것이 중요한 것이 아니라, 새로운 개념의 제조 시스템의 등장이 지식의 결합의 산물이 아니라, 창의적 개념에 의한 것이라는 것에 주목하여야 한다.

현재 유연 제조 시스템이 확산되고 있다. 대표적인 예로, 가공 분야에서, 일본 FANUC사의 CELL 60라는 것을 들 수 있다. 금요일 오후부터 월요일 오전까지 72시간의 무인 운전 (여기서의 무인이라 함은 최소한의 시

스템 관리 인원으로 운전한다는 의미임) 을 위한 것으로서, System 24의 개념을 그대로 상품화한 것이다. 일 본인의 속성이 잘 나타나는 대표적인 예들 중의 하나이다. 물론, FANUC사는 System 24의 미국 특허권이 있는 Molins사에게 특허 사용료를 지불하고 있다.

유연 제조 시스템의 가장 큰 특징은 (1) 여러 종류의 제품 또는 부품 (물론 비슷한 그룹의 제품 또는 부품이어야 함) 을 하나의 시스템에서 혼합하여 제조할 수 있다는 것과 (2) 부분 무인 운전이 가능하다는 점이다. 따라서, 부분 무인 운전을 위하여는 일시 저장 버퍼가 필요하며, 대부분, 소형 자동 창고와 자동 물류 운반장치가 제조 기계들을 지원하는 형태의 배치로 구성된다. 그리고, 전체 시스템을 총괄하여 운용하는 시스템 운용 컴퓨터와 소프트웨어가 필요하다.

국내 실정으로는 현재 시스템 운용 제어 소프트웨어 부분이 가장 애로 기술로 되어 있다. 통일 중공업에서 1996년도에 국책과제인 선도기술개발사업 (G7 프로젝트) 을 통하여 일체의 유연 제조 시스템 (가공 분야) 을 성공적으로 개발한 바 있으며, 곧 국내 수요가 급증할 전망이다.

앞으로, 더욱 높은 수준의 다품종 소량 생산의 시장 환경으로 변화되고, 이에 따라서, 생산 방식이 변화하며, 제조 시스템도 유연 제조 시스템으로부터 또 다른 시스템으로 발전된다. 제조 시스템의 발전도 역시 생산 방식의 변화를 가능하게 하는 사회 기반 기술들 - 인터넷, 초고속 통신망, 광역 통신망, 멀티 미디어, 가상 현실 기술, 전문가 시스템 등에 의하여 이루어 지며, 결국 극히 다양화 되는 제품 또는 부품을 더욱 빠르게 제조하는 시스템으로 발전된다. 이것을 편의상 쾌속 제조 시스템 (RMS: Rapid Manufacturing System) 이라고 부르기로 하자.

쾌속 제조 시스템의 기본 조건은 가공 또는 조립을 담당하는 기계 또는 그룹이 완전히 자율적이고 지능형이고, 모듈화되어 있어야 한다는 점이다. 각 기계 또는 그룹은 매 작업마다 다른 부품 또는 제품을 가공 또는 조립할 수 있어야 한다. 그리고, 각 기계 또는 그룹이 공간적으로 분산되어 있으며, 초고속 통신망으로 연결

된다. 따라서, 여러 대의 기계와 물류 운반 장치로 이루어진 중형 또는 대형 그룹의 유연 제조 시스템이나 여러 스테이션으로 연결된 트랜스퍼 라인의 조립 라인 은 점점 높은 수준의 다품종 소량 생산 시대로 변하는, 궁극적으로는 고객 생산 방식으로 발전하는 21세기에는 더 이상 경쟁력을 가질 수 없다.

<그림 2.4.>는, 가공 부문에서, 현재의 유연 제조 시스템으로부터 가까운 미래에 어떠한 제조 시스템으로 발전할 지를 보여주는 그림이다. 우선, 가공을 담당하는 기계는 선삭 공정과 머시닝 센터에서 담당하는 공정을 모두 수행하는 공작기계이며, 소재와 CAD 데이터를 입력하면, 자기 스스로 가공 경로와 절삭 조건을 찾아서 가공하는 유니버설 머시닝센터이다. 이 기계는 단독으로 운전이 가능하며, 다른 기계와 같이 공동으로 물류 운반 장치, 데이터 베이스 서버와 공구 창고를 공유할 수 있다. 한 기계가 특정 소재의 가공을 완료하면, AGV를 호출하여 완제품을 완제품 버퍼로 보내고, 소재 대기 버퍼에서 기다리고 있는 다음 소재를 운반하게 하여, 다시 가공을 시작한다. 이것은 마치 하나의 queuing model과 동일하다. 여기서, 유니버설 머시닝센터를 지능형 조립셀로 대체하면, 패속 조립 시스템도 비슷한 개념으로 구성될 수 있다.

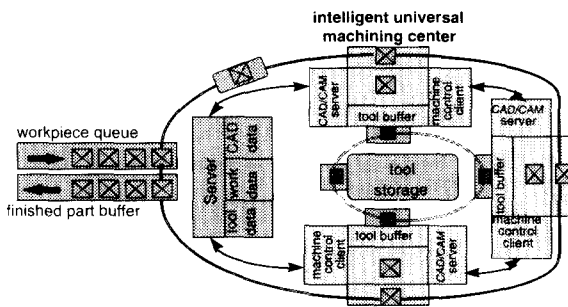


그림 2.4. 가공 부문에서의 패속 제조 시스템. (RMS: Rapid Manufacturing System).

마지막으로, 현재 지능형 기계 또는 시스템이라는 개념이 자주 사용되고 있다. 기본적으로 어느 기계 또는 시스템에, <그림 2.5>와 같이, 자기 모니터링, 진단과 제어 기능이 완벽하게 갖추어져 있어야 그 기계 또는 시스템이 지능형이라고 할 수 있다. 여기서, 자기 모니

터링은 실시간으로 기계의 가동 상태를 센서를 통하여 정보화하는 기술을 의미하며, 자기 진단은 입력된 기계 상태 정보로부터 현재 상태가 비정상인지를 판단하는 추론 기능과 비정상일 경우에 스스로 정상 상태로 되돌리기 위한 제어 지령을 만들어 내는 기능을 말하며, 제어 부분에서는 제어 지령에 따라서 직접 제어 활동을 하여 정상 상태로 되돌리는 기능을 의미한다. 어떠한 기계나 시스템이든지 이러한 세 가지 부분의 기능이 통합되어 온라인으로 운전되어야 지능형 기계 또는 시스템이라고 할 수 있다.

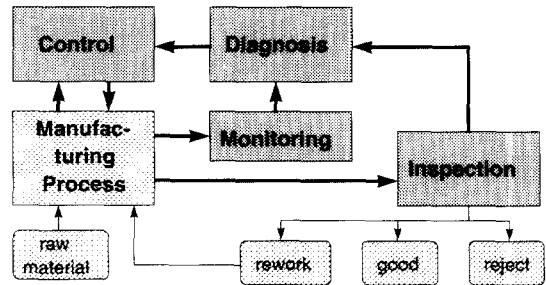


그림 2.5. 지능형 제조 공정의 기본 기능: 온라인 자기 모니터링, 진단 및 제어.

4. 결론

본 글에서는 과연 21세기에 출현할 생산 방식과 그러한 생산 방식을 지원하는 제조 시스템은 어떠한 조건을 만족하여야 하는지에 대하여 생각하여 보았다. 대량 생산 방식으로부터 적시 적량 생산 방식의 시대로 발전하여 왔듯이, 21세기에는 현재 발전되고 있는 기반 기술들, 즉, 인터넷, 초고속 통신망, 광역 통신망, 멀티미디어, 가상 현실 기술, 전문가 시스템 등이 응용되어, 더욱 새로운 생산 방식으로 발전되어 갈 것이다. 그것은 결국 초극단적인 다품종 소량 생산을 지원하는 방향으로 발전되어 갈 것이며, 결국 고객 생산 방식으로 진전되지 않을까 생각된다.

고객 생산 방식은 두 가지를 만족하여야 한다. 첫째는 고객에 의한 제품의 온라인 설계 (On-line Customer Design) 가 가능하여야 하고, 둘째는 고객이 설계한 제품의 현장 패속 제작 (On-site Rapid Manufacturing)

이 가능하여야 한다.

고객 생산 방식을 지원하는 쾌속 제조 시스템의 기본 조건은 가공 또는 조립을 담당하는 기계 또는 그룹이 완전히 자율적이고 지능형이고, 모듈화되어 있어야 한다는 점이다. 각 기계 또는 그룹은 매 작업마다 다른 부품 또는 제품을 가공 또는 조립할 수 있어야 한다. 그리고, 각 기계 또는 그룹이 공간적으로 분산되어 있으며, 초고속 통신망으로 연결되어 있는 제조 시스템을 생각할 수 있다.

제조 시스템은 앞으로도 끊임없이 발전한다. 국내의 상황이 이제는 새로운 제조 시스템을 우리 스스로 창조 설계하지 않으면 안되는 시대가 되었다. 제조 공학과 제조 기술에 대하여 새로운 개념과 창의력을 가지고 도전할 때가 되었다. 21세기의 문턱에서, 제조업체만이 아니라 학계, 연구소, 그리고 정부의 모든 부문에서 제조 기술에 대하여 혁신된 시각과 개념을 가져야 할 때다.

저자 소개

김종원

1978년 서울대학교 기계공학과 학사
1980년 한국과학기술원 기계공학과 석사
1980년-1984년 대우중공업 공작기계사업본부
1984년-1987년 미국 위스콘신대 기계공학과 박사
1987년-1989년 대우중공업 중앙연구소
1989년-1993년 서울대 자동화연구소 특별연구원
1993년- 현재 서울대학교 기계설계학과 조교수
주관심분야는 지능제조공학, 쾌속제조시스템, 자동화시스템 모델링, 설계 및 제어.

(151-742) 서울 관악구 신림동 산56-1,

서울대학교 기계설계학과

Tel: (02) 880-7138

Fax: (02) 883-1513

E-mail: mejwkim@asri.snu.ac.kr

- 담당 편집 위원:

김종원 교수 (서울대학교 기계설계학과) -

'9월호 CASE 기술특집: 적응제어 및 응용사례' 투고 공개 모집 안내

다음 9월호 학회지의 기술 특집의 주제는 '적응제어 및 응용사례'입니다. 각 편집 위원들께서는 각자 전공 분야의 회원들 중에서 물색하여, 본 주제와 관련하여, 우리 학회의 다양한 분야의 회원들이 흥미 있게 읽을 수 있는 논문이나 응용 사례 문헌을 보내도록 추천 및 권유하여 주시기 바랍니다. 또한 회원들 중에서도 보내시고 싶은 논문이나 문헌이 있으시면, 9월 10일까지, 반드시 아래아 한글파일로 작성하셔서, 편집이사 김종원 교수 (전화 02-880-7138, 팩스 02-883-1513, E-mail: mejwkim@mace.snu.ac.kr) 에게 인용처와 저자 소개를 명기하여 e-mail로 보내 주시기 바랍니다. 다만, 수식 위주의 논문은 피해 주시기 바랍니다. 그리고, 기술 특집란에 실리는 원고는 학회지 논문 작성 양식을 준수하여야 합니다만, 너무 형식에 구애받지는 마십시오. 우리 학회의 전기, 전자, 기계, 항공, 화학, 산업, 컴퓨터 공학의 다양한 분야의 회원들이 하나의 공통 주제 아래에 동시에 참여한다면, 흥미로우면서, 우리 학회의 장점을 부각시킬 수 있는 기술 특집이 되리라고 생각합니다.