

자동화 지표 계산 및 공장자동화 순서 결정을 위한 방법

조현보* · 정기용* · 이인범* · 주재구* · 이주강** · 전종학**

An automaticity indicator computation and a factory automation procedure

Hyun-bo Cho · Ki-Yong Jeong · In-bom Lee · Jae-koo Joo · Joo-kang Lee · Jong-hag Jeon

〈Abstract〉

The paper provides a methodology to obtain the automaticity indicator of a factory and the sequence of enabling technologies of factory automation. The automaticity indicator is the measure of the current automation status of a factory and can be used as a crucial criteria for the future automation schedule and investment. Although most industries have their own computation methods which usually consider the number of workers in the shop floor, this research covers five evaluation items of automation, such as, production facility, material transfer system, inspection and test system, information system, and flexibility. The detailed evaluation models are developed for each item. Automation sequencing prioritizes the enabling technologies of factory automation on the basis of several criteria which consist of two phases. The first phase includes the automation indicator and the second phase includes six sub-criteria such as production rate, quality, number of workers, capital investment, development duration, development difficulty. For this evaluation, AHP (Analytical Hierarchy Process) is introduced to prevent the decision maker's subject intention. As results of the automaticity indicator and automation sequence, the manager can save time and cost in building constructive and transparent automation plans.

〈Key word〉 Automaticity indicator, Automation sequence, Factory automation

1. 서론

자동화란 스스로를 제어할 수 있는 기구나 기계, 전기적인 장치를 이용하여 관찰, 의사 결정, 노동 같은 인간의 기능을 대신할 수 있도록 하는 것이다. 공장 자동화는 전기적인 마이크로 프로세스 또는 컴퓨터에 의해서 제어되는 각종 자동화 기기를 이용하여 생산

성의 향상과 유연성을 달성할 수 있도록 생산 공정을 무인화하는 것이다[7]. 자동화의 범위에 따라 단위 기계의 자동화 단계(Mechanization), 일부 기계군이 자동화 단계인 FMC(Flexible Manufacturing Cell), 자동화 군이 연계 단계인 FMS(Flexible Manufacturing System), 설계 및 계획, 생산이 통합화된 단계인 CIM(Computer Integrated Manufacturing)으로 나뉜다. FMS 이상에

* 포항공과대학교 산업공학과

** 포항제철 기술연구소

서의 자동화는 단순히 기계 설비나 Robot의 도입으로 생산 작업을 자동화하는 것만을 의미하지 않는다. 생산 작업의 자동화 이외에 계측, 검사의 자동화, 물류 부분의 자동화, 정보 흐름의 자동화 및 데이터베이스 구축, 설계의 자동화 등의 하부 자동화 요소들이 모두 잘 갖춰지고 효율적으로 통합되는 것이 완전한 자동화라고 할 수 있다[16].

컴퓨터 응용 기술 및 제조업을 지원하는 제반 기술이 급속도로 발전하면서 제조 업체들은 이러한 변화에 능동적으로 대처하기 위해 생산 시스템을 자동화하는 추세에 있다. 이러한 자동화는 많은 투자를 필요로 하기 때문에 경영자는 시행착오 없이 자동화를 진행하기 위한 투명한 계획을 원한다. 또한 공장의 자동화 정도를 표시해 주는 자동화 지표는 현재의 위치를 확인하고 미래의 계획을 세우는데 도움이 될 뿐만 아니라 공장 간의 자동화 수준을 객관적으로 비교함으로써 자동화 우선순위를 결정하는데 사용될 수 있다.

본 연구의 목표는 공장 자동화 일정(Road Map)을 작성하기 위한 방법론을 정립하는 것이다. 다시 말하면 자동화할 공장 내의 공정의 자동화 지표를 구하고 각 공정의 자동화 우선 순위를 구하며 필요한 대안의 개발 순서를 정하는 것이다. 공정이란 재료 투입 단계에서 완성품 출하 및 보관까지를 그 범위로 한다. 본 연구는 제한된 시간 안에 자동화의 효과를 극대화시키며 투자 위험을 최소화하는 투명한 자동화 계획을 제공할 것이다.

일반적으로 제조 공장은 여러 개의 단위 공정으로 구성되며 이 단위 공정을 자동화하는데는 여러 가지의 대안 및 방법이 필요하다. 공장자동화 순서는 제한된 자본으로 어떤 공정의 어떤 대안을 우선적으로 개발할 것인지를 포함한다. 첫째, 자동화해야 할 공정의 순서를 결정한다. 자동화 지표가 가장 낮은 것부터 먼저 자동화를 수행하는 것으로 간주한다. 둘째, 각 공정에서 자동화를 위해 필요한 요소 기술 및 대안을 발견하고 이들 사이의 절대적인 시간적인 선행관계를 결정한다. 셋째, 기술이나 대안들의 우선순위를 결정하는데 필요한 평가 기준을 마련한다. 넷째, 최우선 공정에서 기술이나 대안간의 우선순위를 결정

한다. 이 때, 다른 공정에 포함된 동일한 대안은 제거한다. 하나의 공정이 끝나면 다음 공정으로 이동하여 처음부터 다시 시작한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장은 공정의 지표를 계산하는 방법을 제시하고 제 3장은 공정별 자동화를 위해 필요한 대안을 발견하는 방법을 제시한다. 제 4장은 3장에서 발견된 대안을 평가하는 기준을 서술한다. 제 6장은 대안의 평가 방법을 간략히 제시하고 제 6장은 예제를 제시한다.

2. 공정의 자동화 지표 계산 방법

자동화 지표란 현재의 자동화 정도를 수치화한 것이다. 자동화 지표가 설득력을 가지기 위해서는 각 평가 대상의 특징을 충분히 반영하여야 한다. 자동화 지표를 구하기 위해서 해당 공정을 특성별로 몇 개의 부문으로 나누어서 평가하고 각 부문의 평가 결과를 통합하여 지표로 계산한다. 전통적으로 제조공정의 자동화 지표 평가에 포함되는 부문은 생산설비(Production Facility), 물류(Material Handling System), 검사(Inspection) 등이다[2]. 본 논문은 최근의 기술동향을 반영하여 정보(Information) 및 유연성(Flexibility)을 추가로 포함하였다. 전통적으로 정의된 자동화가 잘 구축되었을지라도 현장 데이터를 실시간으로 수집하여 품질 제고에 이용하고 있지 않으면 자동화가 뒤떨어진다는 의미이다. 각 부문에 대해 평가 기준과 세부 평가 방법에 따라 자동화 지표가 구해진다. 평가 방법은 과거와 현재 그리고 미래에서 자동화의 기반이 되는 기술 수준이나 장비를 고려하였으며, 필요에 따라 수식을 이용하기도 하였다.

2.1 생산설비 부문의 자동화 지표 계산법

생산설비를 제어모델의 유형, 제어모델의 유연성, 자기 진단 능력, 작업 인력 등으로 세분화 하여 평가하였다. 작업 인력의 지표는 수식에 의해서 계산되며, 나머지 세부 항목의 지표는 대상 설비를 분류함으로써 구해진다. 마지막으로 생산설비 부문의 자동화 지표는 이들 네 가지 값의 평균이 된다.

2.1.1 생산설비의 제어모델 유형

설비 분류는 1962년 Amber에 의해 제안된 방법을 수정하여 사용하였다[3]. 설비를 다음과 같이 분류하여, 현재의 제어모델이 속하는 분류의 번호를 5로 나눈 값이 제어모델 유형에 해당되는 자동화 지표다.

- ① 작업자에 의한 제어: 입력 값을 변화시키는 제어 행위의 판단 근거가 작업자의 경험이나 판단에 의존하는 경우이다.
- ② 이산형의(Discrete) 값을 제어하는 모델: 제어 모델의 출력 값이 이산형으로 비교적 간단한 제어에 사용되며 반응시간은 빠르지만 정확도는 떨어지는 표(Table) 방식이다.
- ③ 수식방식의 제어 모델: 간단한 방정식을 이용하여 입력 값을 목표 값과 비교해서 그 편차를 최소화시키기 위한 보정 행위를 하는 모델로 제품의 위치, 크기, 속도 등을 제어할 때 많이 사용하며 전형적인 피드백 제어이다.
- ④ 수리적 모델의 제어 모델: 현재 상태가 수리적 모델로 입력되어 알고리즘 또는 법칙(Rule)에 의해 제어 변수 값을 구하는데 사용되며 Adaptive Control이 그 예이다.
- ⑤ 인공지능 방식의 제어 모델: 수식화하기 어려운 여러 가지 주변 환경이 동적으로 변화하는 경우 퍼지 추론이나 신경망(Neural Network)을 사용하여 제어하는 것이다.

2.1.2 생산설비의 제어모델 유연성(Control Model Flexibility)

설비 제어를 위해 사용되고 있는 제어 모델이 미리 정의된 범위의 값만을 처리할 수 있는지 또는 최적의 제어를 유지하기 위해 주변 환경의 변화에 대처할 수 있는지의 여부를 나타낸다. 다음 분류 중에 현재의 제어모델이 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 제어모델 유연성 자동화 지표다.

- ① 고정된 제어 모델(Fixed Control Model): 제어 방법과는 관계없이 미리 정해진 제어 모델이 변화하지 않는 경우이다.

- ② 학습효과(Learning Effect)를 가진 제어 모델: 과거의 입력 값과 현저히 다른 값이 입력될 때 외부의 지시를 받아들여 학습을 할 수 있는 모델로 전문가 시스템이 해당된다.
- ③ 자체수정(Self Update)기능을 가진 제어 모델: 인공지능을 사용한 것으로 반복되는 제어 데이터의 패턴함수를 수정하는 기능을 가지고 있는데 퍼지 제어기술이 해당된다.

2.1.3 생산설비의 자기 진단 능력(Self Prevention & Recovery)

제어 모델이 설비의 상태를 얼마나 지적으로 진단할 수 있는가를 나타낸다. 다음 분류 중에 현재의 제어모델이 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 자기진단 능력 자동화 지표다.

- ① 진단 기능이 없음: 설비의 자기 진단 기능이 없으며 고장 발생의 예측은 불가능하다.
- ② 기본적인 진단 기능: 현재 상태를 단순히 외부에 표현해 주는 기능을 가진다.
- ③ 예측형 기능: 설비 상태를 항상 감시하여 예방차원의 설비다운이나 공구 교체 시기 등을 예측한다. 센스 기술과 인공지능 기법이 많이 응용된다.

2.1.4 생산설비의 작업 인력(Worker)

이 항목은 설비의 운영이나 또는 모니터링을 위해 투입되는 작업 인력의 숫자를 고려하기 위한 것이다. 일반적으로 작업자의 수가 적을수록 자동화가 많이 되었다고 간주할 수 있다. 또한 적은 수의 작업 인력에서 1명을 줄이는데 필요한 기술 수준은 많은 수의 작업 인력에서 1명을 줄이는데 필요한 그것보다 높다. 따라서 작업 인력과 관련된 평가 함수는 이러한 현상을 반영하도록 지수 분포의 형태가 되어야 한다. 본 연구에서는 2명의 작업자에 의해 운영되는 설비는 0.9의 지표를 가진다고 가정하였다. 따라서 x를 작업자 수라고 할 때 작업 인력을 고려한 자동화 지표는 $(0.9)^{x/2}$ 로 하였다.

2.2 물류 부문의 자동화 지표 계산법

물류는 제품 자체의 가치 창조의 기능은 가지고 있지 않지만 총 생산 시간 중의 대부분은 작업 대기나 이동에 소요된다[10]. 물류 부문은 공정 간의 물류 흐름을 처리하기 위한 공정 물류와 공정 전후에 제품을 일시적으로 보관하는 보관 물류로 나누어지는데 각각은 다시 세 가지로 세분화된다. 각각의 지표 계산 방식은 생산 설비의 그것과 동일하다. 물류 부문의 자동화 지표는 이들 여섯 가지 값의 평균이 된다.

2.2.1 공정물류 설비의 제어기술(Control Method)

다음 분류 중에 현재의 제어기술이 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① 작업자에 의한 운전제어: 작업자에 의하여 직접 운전이 되는 공정물류 기기로서 포크리프트, 크레인 등이 예이다.
- ② 자동제어형: 로직이 프로그래머에 지속적으로 수행될 수 있는 형태로서 컨베이어 벨트, 가이드 라인이 존재하는 무인운반차(AGV) 등이 이 분류에 속한다.
- ③ 자율제어: 물류기기 자체가 주변 환경을 인식하여 자신의 최적 동작 범위 및 동작 방법을 결정하는 형태로서 가이드 라인이 없는 무인운반차(AGV) 등이 예이다.

2.2.2 공정물류 설비의 자기 진단 기능

(Self Prevention & Recovery)

생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.2.3 공정물류 설비의 작업 인력(Worker)

생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.2.4 보관물류 설비의 입출고 제품 인식방법(Product Recognition)

다음 분류 중에 현재의 인식방법이 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① 작업자에 의해 정보 유지: 제품의 입출고 기록이 작업자의 수작업에 의해 기록한다.
- ② 반자동 방식: 제품의 기록 유지는 전산으로 처리되지만 작업자가 제품의 바코드 등을 수동으로 읽게 하는 형태로서 슈퍼마켓 점원의 행위와 이런 유형에 속한다.
- ③ 자동방식: 입출고 기록 유지에 작업자의 수작업이 필요하지 않은 형이다.

2.2.5 보관물류 설비의 입출고 방법(Storage and Retrieval Method)

다음 분류 중에 현재의 입출고 방법이 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① 작업자에 의한 운전 제어: 작업자가 직접 기기를 사용하여 입출고 작업을 행하는 형태로서 포크리프트, 크레인 등이 해당된다.
- ② 자동제어형: 로직이 프로그래머에 지속적으로 수행할 수 있는 형태로서 작업자는 최소한의 운영에 관련한다.
- ③ 자율제어형: 주변 환경을 인식하여 자신의 최적 동작 범위 및 방법을 결정하는 형태로서 센서가 부착되어 Bin의 상태를 실시간에 알 수 있으며 입출고 작업이 최적화 알고리즘이나 인공지능적 기법에 의해서 결정되는 경우이다.

2.2.6 보관물류 설비의 작업 인력(Worker)

생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.3 검사(Inspection) 부문의 자동화 지표 계산법

검사 공정은 전통적으로 수작업에 의해 진행되며 리드타임과 제품가격 상승의 한 원인이다. 검사 공정의 자동화는 제품의 품질이나 생산성을 증가 시키는 수단이 될 수 있다. 일반적으로 검사는 완성된 제품이 디자인 규격을 충족시켰는지의 여부를 결정하는 것이고, 시험(Test)은 완성된 제품의 기능이 디자인 의도를 충족하는지의 판별 여부에 중점을 둔다. 검사 공정에 영향을 미치는 요소는 1) 제어모델 유형, 2) 제어

모델 유연성, 3) 사용되는 센서 형태, 4) 설비의 자기 진단 기능, 5) 작업 인력, 그리고 6) 검사 공정 형태 등이다[3]. 각각의 지표 계산 방식은 생산 설비의 그것과 동일하다. 검사 부문의 자동화 지표는 이들 여섯 가지 값의 평균이 된다.

2.3.1 검사설비의 제어모델(Control Model) 유형
생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.3.2 검사설비의 제어모델 유연성(Control Model Flexibility)
생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.3.3 검사설비에 부착된 센서 형태(Sensor Type)
다음 분류 중에 현재의 센서 형태가 속하는 번호를 2으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① 접촉 방식의 센서: 제품에 직접 접촉해서 검사를 수행하는 센서이다.
- ② 비접촉 방식의 센서: 피검물과의 접촉 없이 검사할 수 있는 방식으로 Optical 방식(Machine Vision, Scanning Laser Systems)과 Nonoptical 방식(Electrical Fields, Radiation Technique, Ultrasonic Technique)으로 분류된다.

2.3.4 검사설비의 자기 진단 기능
(Self Prevention & Recovery)
생산설비의 경우와 같은 방법으로 분류한다.

2.3.5 검사설비의 작업인력(Work Force)
이 항목의 원리는 설비 부문과 같지만 검사 장비는 보통 생산 설비보다 규모면에서 작으므로 1대의 기계당 1명의 작업자가 관계하면 0.5의 자동화 정도를 가지는 것으로 간주하여 지수함수(0.5)^x를 사용하였다.

2.3.6 검사 공정의 형태(Inspection Process Type)
다음 분류 중에 현재의 검사 공정 형태가 속하는 번호를 3으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① Off-Line 검사: 제조 공정과는 별도로 검사가 진행되는 형태로서, 불량품이 검출되었을 시점에는 벌써 제품이 가공된 후이므로 손실을 만회할 수 없다.
- ② On-Line/Post-Process: 검사 공정이 생산 공정 바로 뒤에서 수행되며 최소한 하나의 불량 제품이 발생된 후 전후 공정에 조치를 취하게 할 수 있다.
- ③ On-Line/In-Process: 제품의 가공과 검사가 동시에 이뤄지는 형태로서, 제품의 가공이 끝나기 전에 검사 공정에서 피이드백된 데이터가 제품 가공에 반영된다.

2.4 정보 부분의 자동화 지표 계산법

오늘날 정보 시스템(Information System)은 기업의 생산 활동에 막대한 영향을 미치고 있다. 자동화는 정보화가 없이는 불가능하다. 즉 자동화는 시스템의 정보가 획득되어야 가능한 측면이 있다. 정보의 자동화란 필요한 정보를 수집하여 필요한 곳에서 이를 사용하게 하는 능력이라고 말할 수 있다. 이를 측정하기 위해서는 수집되는 정보가 필요한 부문의 활동에 얼마나 영향을 미치는가와, 정보 시스템이 얼마나 효율적인가를 포함한다. 정보의 질은 크게 정보의 종류, 정보의 정확성, 정보의 유용성 등으로 나누어지며 실 수요자가 판단할 수 있는 정성적인 성질을 가진다[12]. 따라서 그 평가 방식도 점수(Rating)에 의존하는 주관적인 판단 방식이 된다. 그러므로 가능한 한 많은 수요자의 의견을 수집하는 것이 유리하다. 정보의 질에 대한 평가는 다음과 같은 부분에 대한 0~1 사이의 점수로 평가한다. 1에 가까울수록 만족도가 크고 0에 가까울수록 만족도가 떨어진다. 이 외에도 수식에 의해 지표가 결정되는 시스템 가용도와 분류에 의해 지표가 결정되는 자료 보관 시스템의 유형도 주요한 세부 항목이다. 정보 부문의 자동화 지표는 이들 여섯 가지 값의 평균이 된다.

2.4.1 정보의 종류

이는 정보의 실수요자가 필요로 하는 모든 정보의

종류를 현재의 정보 체계가 얼마만큼 만족시켜 주는 가 하는 것이다. 정보는 여러 부서로 전달되므로 평가자가 모든 정보의 종류를 기술할 수는 없다. 따라서 각 수요처마다 느끼고 있는 만족도 평가를 위한 0~1 사이의 점수를 정한다.

2.4.2 정보의 정확성

제공된 정보가 얼마나 현장의 상황과 일치하는가를 평가하기 위한 것이다. 주관적 판단에 의해 0~1 사이의 점수에 의존한다.

2.4.3 정보의 유용성

이 항목은 제공된 정보가 의사결정이나 정보 본래의 사용 목적에 얼마나 충실하였고 쓸모가 있었는지를 평가하기 위한 것으로 주관적 0~1 사이의 점수가 필요하다.

2.4.4 시스템 가용도(System Availability)

이 부문은 전체 시스템의 평균 가동률을 계산하는 것으로 MTBF/(MTBF + Maintainability)에 의해 정의되는 값이다. MTBF가 클수록 그 시스템은 더욱 안정성이 있는 것이다. Maintainability는 일단 고장에 들어간 시스템이 정상적으로 가동되기 위해 걸리는 평균 시간이다. 예방적 차원에서 행해지는 시스템 정비(Preventive Maintenance)도 MTBF와 Maintainability 계산에 포함될 수 있다.

2.4.5 자료 보관 시스템(Data Storage System)의 유형

다음 분류 중에 현재의 시스템 유형이 속하는 번호

를 3으로 나눈 값이 자동화 지표다.

- ① 파일형 : 발생하는 정보를 미리 정의한 파일형의 구조에 저장하는 방식으로 그 이식성이나 재사용성이 떨어진다.
- ② Off-Line 데이터 베이스 : 구축 하거나 재사용하기 편리하지만 Off-Line형이므로 현장의 정보가 수집된 후 일정시간이 지난 후에 그 정보가 반영된다.
- ③ On-Line 데이터 베이스 : 현장의 변동 상황이나 정보가 수집되는 순간 순간마다 전체 시스템이나 다른 정보 시스템에 영향을 미치므로 정확성이나 현장성이 뛰어나다.

2.5 유연성 지표 계산법

최근에는 제품의 수명이 짧아지고, 고객의 요구도 다양해지기 때문에 외부의 상황에 민첩하고 적은 비용으로 대처할 수 있어야 한다. 자동화 시스템에도 시스템의 변화에 신속히 대응할 수 있는 능력, 즉 유연성(Flexibility)이 요구된다[8, 9, 13, 15]. 유연성을 계산하기 위해서 <그림 1>과 같은 시간 개념을 이용한다. 휴지 Loss 시간은 공휴일 때문에 발생하며, 정지 Loss 시간은 설비 고장이나 예방정비로 인한 설비가동중단 때문에 발생한다. 준비 Loss 시간은 설비는 정상이나 공구 교체, 원료 교체, 제품 교체 등에 의한 셋업시간을 의미한다. 본 연구에서는 장치 유연성, 제품 유연성, 수량 유연성 등으로 분류하였다. 유연성 부문의 자동화 지표는 이들 세 가지 값의 평균이다.

달력상의 시간			
조업 시간			휴지 Loss 시간
가동 시간		정지 Loss 시간	
실제가동시간	준비 Loss 시간		

<그림 1> 생산에 소요되는 시간 개념

2.5.1 장치 유연성

장치유연성(Machine Flexibility)은 외부의 어떠한 변화에 대해서 장치가 중단되지 않고 생산 활동을 계속할 수 있는 능력이다. 예를 들면, 시스템 고장, 공구 이상 등이 발생하면 얼마동안 시스템을 정지시켜야 한다. 또는 이상 발생이 아니더라도 정상적인 생산 활동을 위한 준비 시간이 필요할 수 있다. T_p 를 일정 기간의 평균 조업 시간이고 T_w 를 설비의 정지 Loss 시간이 라고 하면 장치 유연성은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$F_M = \frac{T_p - T_w}{T_p}$$

2.5.2. 제품 유연성

새로운 제품, 또는 여러 가지 종류의 제품을 준비 Loss 시간 없이 생산하는 능력이다. 고객의 요구가 다양해지면서 다품종 소량 생산 형태로 바뀌어 가는데 이의 성공은 셋업 시간의 감소와 직결된다. T_p 를 일정 기간의 평균 조업 시간이고 T_s 를 셋업에 필요한 평균 시간이라고 하면 제품 유연성은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$F_P = \frac{T_p}{T_p + T_s}$$

2.5.3. 수량 유연성

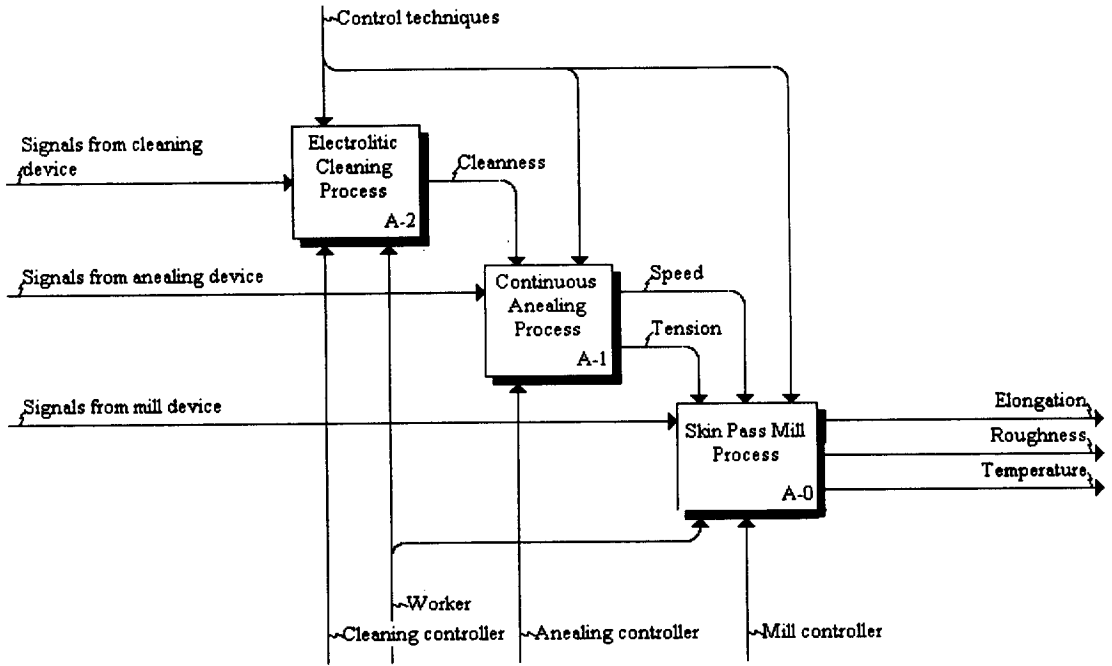
제품의 수요의 변화에 민첩하게 대응하여 납기에 맞추어 제품을 생산해내는 능력이다. 제품의 수요는 가변적이므로 생산량도 가변적이다. 따라서 이들 가변적인 생산량을 정해진 납기에 맞추려면 생산 계획, 생산 능력 등이 복합적으로 고려되어야 된다. 만약 제품이 납기 전에 완성되면 운송 전까지 제품을 보관해야 하므로 재고 비용이 필요하고 납기를 넘길 경우 고객을 만족시키지 못하므로 신용이 하락하고, 추가 비용이 발생한다. O_i 를 모든 제품의 주문 일로부터 납기 일까지의 기간의 총합, D_i 를 실제 생산된 시점과 납기까지의 차의 절대값의 총합이라고 하면 수량 유연성은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$F_V = \frac{O_i - D_i}{O_i}$$

3. 공정별 자동화를 위한 기술 및 대안 확인

각 공정의 자동화를 위해 필요한 기술 및 대안을 발견하는 것은 쉬운 일이 아닌데 지금까지는 해당 실무자의 경험을 바탕으로 이루어져 왔다. 그러나 기능 분석을 통하여 생산 시스템의 기능이 명확하게 분석된다면 실무자들은 대안을 확인하는데 체계적으로 접근할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 시스템의 기능 및 이들 사이의 입출력 상관관계를 모델링하고 분석하는데 유용한 IDEF0(Function Modeling Method)를 이용하였다. IDEF(Integration DEFinition)는 생산시스템 설계 및 분석을 위해 1980년대 미공군에 의하여 개발되었다[11]. IDEF 모델링 기법들은 서술적이면서 동시에 분석적이다. 뛰어난 서술성(Description)은 시스템의 구성 요소를 구별하는데 유리하며 분석성(Analysis)은 수행된 디자인을 검증하기 위한 방법으로써 유용하다.

IDEF0은 일종의 그래픽 언어인데 그 문법을 서술하는데 필요한 알파벳은 사각형과 화살표로 구성되어 있다. 여기서 사각형안의 기능은 특정 구성 요소의 기능이며 입력은 이 기능들이 출력을 만들기 위해 투입하여서 직접 그 성질이 변하는 것이다. Control이란 기능을 제어하고 제한하는 것이며, 메카니즘이란 기능을 수행하는데 필요한 주체 또는 도구이다. 이 단계를 좀더 구체화시키려면 분해하여 같은 방법으로 모델링할 수 있다. 이와 같이 만들어진 모델에서 개선해야 하거나 개선의 여지가 있는 부분을 찾아낼 수 있다. 특히, 모델의 각 기능의 메카니즘은 그 기능을 수행하는 주체 또는 도구이므로 자동화 대상으로 간주할 수 있다. 위의 과정을 통해 만들어진 모델을 분석하여 개발되어야 할 기술이나 대안의 리스트를 작성한다. 예를 들면, <그림 2>는 철강 생산공정에서 냉연 제품을 만드는 공정의 일부이다. 기능은 작업자나 제어 시스템과 같이 자동화 대상을 나타내며 분해된 기능의 메카니즘은 작업자나 제어 시스템의 상세한 역할이나 구성요소를 나타낼 것이다. Control은 프로세스를 제어하는데 필요한 요소기술이 된다.



〈그림 2〉 자동화 대상과 자동화 요소기술을 추출하는데 사용된 IDEFO 모델

4. 대안의 평가 기준 설정

발견된 기술 및 대안은 평가 기준을 이용하여 그 중요도를 조사해야 한다. 이 결과는 기술 및 대안의 개발 순서를 정하는데 중요한 잣대가 될 수 있기 때문이다. 일반적으로 전체 시스템의 이익을 가장 크게 하는 대안부터 순서대로 개발해야 한다. 평가 기준은 한 가지 대안이 개발되었을 때 전체 시스템에 미치는 영향을 가장 잘 반영할 수 있도록 설정되어야 한다. 일반적으로 자동화를 진척시킬 때 발생하는 이점을 조사하면 자동화와 관련된 대안들의 비교 우위를 조사하는데 도움이 된다. 자동화에 필요한 대안의 평가 항목은 1) 생산량, 2) 품질, 3) 노동력, 4) 투자 비용, 5) 개발 기간, 그리고 6) 개발 난이도 등으로 하였다.

4.1 생산량의 영향

한 대안의 개발은 전체 시스템의 생산량에 영향을 미칠 수 있다. 이 항목은 무슨 대안이 전체 시스템에

가장 많이 영향을 미치는가를 평가 하기 위해 사용된다. 생산량에 영향을 미치는 대안은 주로 설비의 시스템의 속도에 영향을 미치는 대안들이다. 그러나 여러 대의 설비로 구성된 시스템에서 어떤 설비의 가공 시간을 줄여야 하는가는 쉽게 예측할 수 있는 문제가 아니다. 설비당 제품의 가공 시간이 전체 생산량에 미치는 정도는 Throughput(TP)에 대한 가공 시간(CT)의 민감도인데, TP/CT라고 나타낼 수 있다. 이 값은 단위 공정 시간을 변화시켰을 때 전체 시스템의 Throughput이 변화하는 정도라고 할 수 있다. 즉 각 설비의 공정 시간에 영향을 미치는 대안들 중 전체 시스템의 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 대안을 구별 할 수 있다. 민감도의 절대값이 가장 큰 부분이 전체 시스템의 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 곳이다. 이와 같은 민감도는 시뮬레이션을 통하여 쉽게 구할 수 있다.

4.2 품질의 영향

실제 데이터 수집의 어려움을 없애기 위해 품질의 영향은 불량률에 대한 상대적인 개념으로 정의된다. 한 대안의 개발이 제품의 품질을 향상시키면 이 효과는 불량률의 감소로 나타나게 된다는 논리이다. 불량률은 가격으로 쉽게 환산될 수 있다는 장점 때문이기도 하다. 불량률의 감소는 궁극적으로 비용의 절감을 가져온다. 평가 대상 대안 중 품질과 관련이 있는 대안들이 현재의 불량률을 얼마나 낮출 수 있는지를 예측한다. 이 예측치를 산출하기가 어려우면, 각 대안별 불량률의 목표치를 사용할 수도 있다.

4.3 노동력의 영향

특정 대안의 개발로 작업자가 줄어들어 노임이 가장 많이 절감하는 대안에 우선 순위를 두자는 의미로 채택되었다. 노동력 절감이란 직접적으로 작업자를 줄일 수 있는 정도를 측정하기 때문에 직접 노임과 간접 노임을 모두 포함해야 한다. 이 항목은 예측치를 구하기가 쉽기 때문에 산출된 절감된 인건비를 직접 노동력 절감 지표로 사용한다.

4.4 투자 비용

이 비용은 새로운 대안을 개발할 때 발생하는 투자 비용이다. 크게 나누어서 직접 원료비, 직접 노동비, 간접 경비 등이다. 직접 원료비는 시설비, 재료비 등 대안 개발을 위해서 투입되는 모든 시설비용이다. 직접 노동비는 대안 개발에 투입되는 연구 인력의 직접 노동비를 의미한다. 간접 경비는 대안 개발에 직접 사용되지 않는 원료비, 보험료, 복지 후생비 등의 간접 노임과 생산량과는 무관하게 항상 일정하게 발생하는 세금, 보험료, 건물 경영비 등의 고정비를 모두 포함한다.

4.5 개발 기간

개발 기간이란 기술 및 대안을 개발하는데 걸리는

소요 기간을 나타낸다. 비용 개념은 이자율의 의미로만 시간의 비용을 평가하였지만 실제 기업 활동에서는 절대적인 개발 기간 그 자체도 상당히 중요하다. 개발 기간은 비용으로 모두 환산되지 않는 기회 비용을 포함하고 있기 때문이다.

4.6 개발 난이도

개발 난이도란 기술적인 어려움의 정도를 나타내기 위한 항목이다. 개발 난이도는 그 특성상 관련 전문가의 판단에 의지 하는 수밖에 없다. 관련 전문가는 최대한 객관적인 방법을 유지하기 위하여 점수할당 방법을 사용하는 것이 좋다. 이 개발 난이도 지표는 현재의 기술 수준을 고려했을 때의 새로운 기술의 가능성을 타진해야 한다.

5. 기술 및 대안의 평가 방법

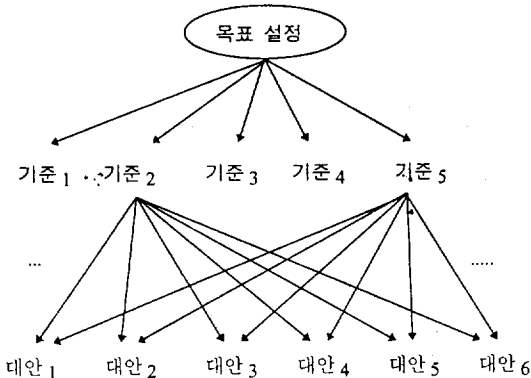
각 대안에 대한 평가 기준의 자료는 획득하기가 보통 쉽지 않다. 여섯 가지 평가 기준 중에서 대안의 난이도나 개발기간 등에는 평가자의 주관적인 평가가 개입되기도 하는데 이러한 상황에서 최대한 객관성을 유지하는 것이 중요하다. 각 평가 기준의 정의에 따르면 개발 난이도는 전문가의 지식에 따른 평가에 의해 결정되는 정성적인 항목이다. 또한 다른 평가 기준에 대해서도 과거의 데이터가 존재하지 않을 수도 있다. 또한 과거의 데이터는 단순한 수치의 나열에 지나지 않은 경우도 존재한다. 즉 어떠한 평가에는 평가자의 주관적인 평가가 깊숙이 개입되는 경우도 있다. 이러한 경우에 객관성을 유지하면서 쉽게 평가할 수 있는 방법이 바로 AHP(Analytic Hierarchy Process)에 의한 방법이다[6]. 이 방식에 의한 의사 결정은 다음의 절차를 따른다. 최우선 공정의 기술 및 대안부터 다음과 같은 단계를 거치면서 그 개발 순서가 정해진다.

<단계 1> 목표 설정: 적은 비용으로 최대의 생산성을 달성

<단계 2> 평가기준 설정: 기준 1, 기준 2 등등

〈단계 3〉 대안 설정: 대안1, 대안2 등등

〈단계 4〉 AHP Tree구성〈그림 3〉



〈그림 3〉 AHP Tree

〈단계 5〉 각 평가 기준별 대안의 상대적 중요도를 결정하기 위하여 대안 대 대안을 Pairwise 방식으로 비교한다. 이를 위해서는 대안 대 대안의 행렬이 필요하게 되는데, 각 행이 대안이고 또한 각 열도 대안이다. 예를 들면, 대안이 4개이면 4 X 4의 행렬이 구성된다. Pairwise 비교는 이 행렬에서 행해진다. 이 행렬의 각 셀은 다음과 같은 방식으로 채워진다. 1) 행의 대안이 열의 대안보다 얼마나 더 주어진 기준을 만족시키는지 1에서부터 9까지 평가하여 해당 셀에 대입한다. 2) 대각선을 대칭으로 하는 각 셀의 곱은 1이 되어야 한다. 즉 어떤 셀의 비교치가 3이면 대각선을 기준으로 대칭인 셀의 평가치는 1/3이다. 3) 대각선에 해당되는 셀의 값은 항상 1이다. 즉 대각선은 같은 대안들의 비교치를 기록하게 되므로 그 상대적 중요도는 1이다. 이 행렬의 각 열을 정규화 한다. 즉, 각 셀의 값을 열의 합으로 나눈다. 그 행렬을 A라고 하고 e 를 열 단위 벡터라고 할 때,

$$W = \lim_{K \rightarrow \infty} A^K e / e^T A^K e$$

를 계산한다. 수렴하는 w 의 값이 바로 각 대안에 대한 중요도이다. 각 평가 기준에 대해서 구해진 모든 AHP 값(행렬의 열)을 더하면 모든 평가 기준을 고려

한 각 대안의 중요도가 된다.

〈단계 6〉 대안은 상호 유사성이 존재하므로 유사성을 평가하는 가중치를 결정한다. 특히 두 가지 대안이 상호 유사한 점이 많다면 종속성이 커지면서 한 가지 대안의 개발은 다른 대안의 개발을 더욱 쉽게 한다. 이를 비교하기 위해서 단계 5와 마찬가지로 대안의 행렬을 만든 후 각 행의 대안이 각 열의 대안과 비교하여 얼마나 유사한지를 0~1 사이의 수치로 평가하여 각 셀에 대입한다. 1에 근접할수록 두 대안이 유사하다. 그러므로 대각선의 셀은 1을 채운다. 대각선에 대해서 대칭인 셀의 값은 동일하다. 이 행렬에서 각 행의 합이 그 행에 해당하는 대안이 다른 대안들과의 유사성이다.

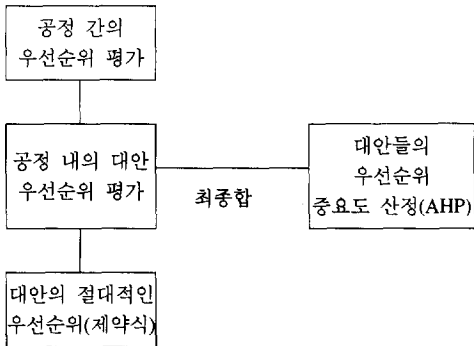
〈단계 7〉 단계 5에서 AHP에 의해 구해진 각 대안의 중요도와 단계 6에서 구해진 각 대안의 유사성을 곱하여 최종 대안의 중요도를 구한다.

〈단계 8〉 단계 7에서 최 우선 공정의 모든 기술 및 대안은 그 중요도에 따라 순서가 매겨진다. 이 때, 주의할 것은 대안 리스트 작성 시 만들어졌던 제약조건을 반드시 만족시켜야 하기 때문에 비록 우선 순위를 가지는 대안일지라도 제약조건에 의해서 뒤로 밀려날 수 있다는 것이다. 또한, 동일한 대안이 다른 공정에도 속해 있으면 동시에 개발되는 것으로 간주하고 그 대안을 공정에서 삭제한다. 이와 같은 방법으로 최 우선 공정의 대안에 대한 계획이 완료되면 다음 공정으로 옮긴 후, 단계 1로부터 다시 시작한다. 이와 같이 모든 공정의 모든 대안이 평가되고 순서가 정해지면 끝낸다.

6. 소프트웨어 개발 및 예제

개발된 소프트웨어는 크게 두 가지 모듈로 구성되어 있다. 첫번째 부분은 자동화 지표를 계산하는 부분으로서 사용자가 생산설비, 검사, 물류, 유연성, 정보 부분의 가중치를 입력하고 해당 부분의 평가표를 기입하면 해당 공정의 자동화 정도가 수치와 그래프로 표시 표현된다. 이것은 공정 간의 자동화 우선 순위를 의미한다. 두 번째 모듈은 자동화 지표 및 대안들의 우선 순위 중요도를 입력으로 받아서 각 공정의 대

안들의 개발 순서를 보여주는 자동화 순서 결정을 다룬다. 자세한 구성 요소는 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 자동화 일정을 산출하는 소프트웨어 주요 모듈

<그림 5>는 검사 부문의 평가 결과를 보여주는 화면이다. 소항목란의 결과가 검사부문의 각 항목의 해당 평가치이고 대항목란의 수치는 소항목란의 수치에 해당 가중치를 곱하여 더한 값이다. 가중치는 사용자 임의로 수정할 수 있다.

항목	가중치	점수	합계
대안1	0.20000	0.33333	0.06667
대안2	0.33330	0.33333	0.11111
대안3	1.00000	0.33333	0.33333
합계		0.51109	
대안1	0.50000	0.25000	0.12500
대안2	0.50000	0.25000	0.12500
대안3	0.50000	0.25000	0.12500
합계		0.50777	

<그림 5> 검사 부문의 자동화 지표를 나타내는 화면

<그림 6>은 <그림 5>에서 1. 제어기술 부분의 1.1 제어모델 유형 행의 평가키를 눌렀을 때 나타나는 화면이다. 각 대상에 대하여 해당 수준을 입력하게 되면 그 값이 아래쪽에 표시된다. 저장키를 누르면 데이터베이스에 기록이 되며 종료키를 누르면 점수란의 0.2라는 점수가 해당 항목(제어모델 유형)의 소항목란에 자동 입력이 된다. <그림 5>의 모든 소항목란의 수치는 이러한 방법으로 입력이 되어진다.

대상	수치
0.20000	2
0.20000	0.20000
0.20000	0.20000

<그림 6> 검사 부문 중의 제어모델 유형에 대한 분류

<그림 7>은 모든 부문(설비, 검사, 물류, 유연성, 검사)에 대하여 자동화 지표 평가를 완료한 후 나타나는 평가화면이다. 관련 공정의 자동화 지표는 약 63%이다.

부문	자동화 지표	합계
설비	0.59269	0.20000
검사	0.70555	0.20000
물류	0.48447	0.20000
유연성	0.39432	0.20000
합계	0.98106	0.20000
총합	0.63162	

<그림 7> 각 부문에 대한 자동화 지표 및 통합 자동화 지표

이와 같이 각 공정 별로 자동화 지표를 계산하여 어느 공정을 먼저 자동화 할 것인지를 정한다. 한 공정이 세 개의 공정으로 나누어져 있다고 가정하자. 그리고 대안3이 절대적으로 대안3보다 우선적으로 개발되어야 한다고 가정하자. <그림 7>의 통합 자동화 지표를 가진 공정을 공정1이라고 하고 공정2의 자동화 지표를 0.73, 그리고 공정3의 자동화 지표를 0.78이라고 하자. 따라서 공정1, 공정2, 공정3의 순으로 자동화 우선 공정이 된다. 가장 먼저 최우선 공정은 공정1이 되므로 이 공정에서 괄호 안의 숫자는 대안 평가 기준에 의해 정해진 대안의 평점이다. 이 점수가 가장 큰 것이 대안1이므로 대안1에 첫번째 우선순위가 정해진다.

대안1이 공정2와 공정3에도 존재하므로 같은 우선순위로 결정된다. 대안2가 2번이 되어야 하지만 제약식 때문에 제약하는 대안3이 2번이 된다. 대안3이 결

〈표 1〉 각 공정의 자동화 지표 및 대안들의 우선 순위

		공정 1			공정 2			공정 3		
자동화 지표		0.63			0.73			0.78		
공정 우선 순위		1			2			3		
대안	대안	점수	순위	대안	점수	순위	대안	점수	순위	
	대안1	60	1	대안1	60	1	대안1	60	1	
	대안2	50	3	대안2	50	3	대안5	50	5	
	대안3	40	2	대안5	50	5	대안6	40	6	
	대안4	30	4	대안6	40	6				

정되면 당연히 대안2가 3번이 된다. 공정2에도 대안2가 존재하므로 이것이 3번의 순위를 가지게 된다. 이와 같은 식으로 최우선 공정 내의 모든 대안에 우선 순위를 매긴다. 대안4에 4번의 순위를 매기면 이번에는 최우선 공정이 공정2가 된다. 공정2에서 순위가 정해지지 않은 대안은 대안5와 대안6이므로 이들에 대해 평가를 실시하면 그 값이 각각 50,40이다. 공정1에서와 같은 과정을 되풀이 하면 된다.

7. 결론

본 연구는 공장 자동화를 위한 자동화 지표 및 자동화 순서 결정을 위한 방법론, 그리고 그들의 구현 소프트웨어를 제시하였다. 자동화 지표를 구하는 방법을 제시함으로써 기업 내의 각 공장들은 표준화된 방식에 따라 자동화 지표를 계산할 수 있을 것이며 또한 객관적으로 자동화 진행 정도를 비교할 수 있을 것이다. 자동화 일정은 막연히 그 필요성만이 인정되었던 대안들에 대하여 상대적으로 얼마나 중요한가를 쉽게 비교할 수 있으므로 투자를 집행하는 담당자에게는 실제적인 도구를 제공한다. 특히 본 연구에서 개발된 소프트웨어의 장점은 구체적인 자료를 구하기 쉽지 않은 여건 속에서도 비교적 객관성이 높은 방법으로 의사결정을 할 수 있게 지원하는 것이다. 본 연구에서 사용된 개념들은 경영과 생산관리 분야에 광범위하게 적용될 수 있으므로, 어떠한 산업체에서도 약간의 수정만 하면 유용하게 사용할 수 있다. 또한 본 연구는 이 분야에 대한 선두적인 제안이므로 이를

좀 더 다듬고 이론화하는 추후 연구가 기대된다.

【참고문헌】

- [1] Abdel-Malek, L. and Wolf, C., "Measuring the impact of life cycle costs, technological obsolescence, and flexibility in the selection of FMS design," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 37-47, 1994.
- [2] Canada, J. R., "Non-traditional method for evaluating CIM opportunities: assign weights to intangibles", *Industrial Engineering*, pp. 66-71, March 1986.
- [3] DeGarmo, E. P., Black, J. T., and Kohser, R. A., *Materials and Processes In Manufacturing*, Macmillan Publishing Company, New York, 1988.
- [4] Eversheim, W. and Herrmann, P., "Recent trends in flexible automated manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.1, No. 2, pp. 139-148, 1982.
- [5] Frazelle, E. H., "Flexibility: A strategic response in changing times", *Industrial Engineering*, pp. 17-20, March 1986.
- [6] Golden, B., Wasil, E., and Harker, P., *The Analytic hierarchy process: applications and studies*, New York: Springer-Verlag, 1989.
- [7] Groover, M. P., *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall Inc, USA, 1987.
- [8] Gupta, Y. P., Goyal, S., "Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements", *European Journal of Operational Research*, Vol. 43, pp. 119-135, 1989.
- [9] Gustavsson, "Flexibility and productivity in complex production processes", *International Journal of Production Research* 26(2), pp. 801-808, 1988.
- [10] Karni, R. and Rubinitz, J., "A taxonomy for the material handling and transfer environment", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 8, No. 3, pp. 177-188, 1995.

- [11] Mayer, R. J., IDEFO function modeling: A reconstruction of the original Air Force report, Knowledge Based Systems Inc., College Station, TX, 1990.
- [12] Saunders, C. and Jones, J. W., "Organizational factors affecting the evaluation of information systems performance", Information Resources management Journal, Vol. 5, No. 2, pp. 5-21, 1992.
- [13] Sethi, A. K. and Sethi, S. P., "Flexibility in manufacturing: a survey", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 2, pp. 289-328, 1990.
- [14] Sink, D. S., "The role of measurement in achieving world class quality and productivity management", Industrial Engineering, pp. 23-28, June 1991.
- [15] Son, Y. K. and Park, C. S., "Economic measure of productivity, quality and flexibility in advanced manufacturing systems," Journal of Manufacturing Systems, Vol.6, No. 3, pp. 193-207, 1987.
- [16] Thomas, D., "Eight new ways to evaluate automation," Mechanical Engineering, pp. 82-86, July 1989.

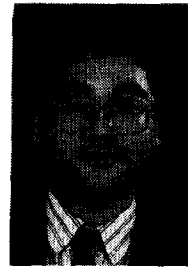


조현보

1986년 서울대학교 산업공학과 학사
 1988년 서울대학교 산업공학과 석사
 1993년 Texas A&M University 박사
 현 재 포항공대 산업공학과 조교수
 관심분야 Shop Floor Control, CAPP, Manufacturing Systems Design and Analysis, Modeling Technology

정기용

1988년 고려대학교 산업공학과 학사
 1992년 Texas A&M University, 산업공학과 석사
 현 재 유학중



전종학

1987년 경북대학교 전기공학과 학사
 1992년 경북대학교 전기공학과 석사
 92~94년 산업과학기술연구소 제어연구부 연구원
 94~현재 포항제철 기술연구소 계측제어 연구팀 주임연구원
 관심분야 적용제어, 자동화 시스템 설계, Fuzzy Logic 및 신경회로망



이주강

1976년 한양대학교 전자공학과 학사
 1982년 Northwestern University 컴퓨터공학과 석사
 1986년 Northwestern University 컴퓨터공학과 박사
 86~87년 Northwestern University 연구원
 87~94년 산업과학기술연구소 제어연구부 실장
 94~현재 포항제철 기술연구소 계측제어 연구팀 팀장
 관심분야 EIC통합 시스템, 실시간 제어 시스템, Multi-Processing Computer System