

자동화제조시스템용으로 개발되는 공작기계의 성능평가방법에
대한 연구
A Study on Performance Evaluation Method of Advanced Machine
Tools

편 영 식

Young Shik Pyoun

선문대학교 공과대학 기계공학과
Mechanical Engineering Department, SunMoon University

주요어: 첨단생산시스템, Machining Centers, 성능평가모형, 성능평가요소

< 요약 >

G7 프로젝트로 개발중인 첨단생산시스템(FMS로부터 CIM까지)의 핵심구성요소인 고성능·고정밀공작기계의 성능을 평가할 수 있는 요소를 개발하고 사례로서 이를 Machining Centers에 적용하여 각 요소별 세부항목과 기준을 개발하여 제안하였다. 또한 이 평가내용을 국제경쟁제품과 비교하거나 국제경쟁력 달성정도를 평가할 때 용이하게 사용할 수 있는 적절한 평가모형도 제안하였다.

1. 서론

제조업이 우리 나라 경제발전의 견인차 역할을 하여왔고 앞으로도 국가경제발전의 기둥으로 가장 중요한 역할을 해야할 것이다. 정보통신, 소프트웨어, 서비스 등의 3차산업에 중점을 둔 이래 제조업의 국제경쟁력상실로 만성적인 무역적자와 경기불황에 빠져있던 미국도 최근 다시 제조업이 부를 창조하는 비중이 전 산업의 2/3에 다다른다는 사실을 중요하게 인식하고 생산기술

분야의 연구개발에 대한 투자뿐 아니라 산업계에서도 실질적인 투자를 활성화시키고 있다 [1].

국가간 기술장벽제거를 위해 제정된 ISO9000 계열의 품질보증에 대한 기본개념의 전세계적 파급과 WTO체제하에서 예상되는 Green Round 및 Technical Round에 의해 독자적인 생산시스템기술과 고급품질을 갖추지 못한 우리 나라 제조업의 국제경쟁력은 더욱 악화될 것이라 예상된다.

이렇게 미구에 닥쳐올 어려움에 대처하기 위

해 거국적으로 실시하고 있는 G7프로젝트의 중요성은 말할 것도 없고 특히 첨단생산시스템개발사업의 성과가 전제조업에 미치는 영향은 지대하리라 생각된다 [2,3,4].

그러므로 본 논문에서는 첨단생산시스템개발사업의 핵심구성요소로 개발중인 공작기계의 성능을 평가할 수 있는 평가요소를 개발하고 국제수준과 비교할 때 사용할 수 있는 모형을 제안하려고 한다.

2. 평가요소의 개발

첨단생산시스템의 기본 연구개발방향에 맞는 평가요소를 다음과 같은 세종류의 기본개념을 설정하고 개발한다. 이는 적절한 평가요소의 개발이야말로 개발담당자가 연구개발을 효율적으로 달성하도록 안내하는데 가장 중요한 인자이기 때문이다[2,3].

첫째로 개발을 통해 고유 또는 독자 생산시스템기술을 확보하고 활용하는 정도를 계량적으로 평가하려고 한다. 이는 향후 고유생산시스템기술을 갖추지 못하고는 국제경쟁에서 절대로 생존할 수 없는 것이 자명하기 때문에 국제경쟁을 대비할 수 있는 내실 있는 과제의 개발이 되어야 한다는 것을 표명하는 것이다. 이로서 개발의 주체들이 고유기술 확보를 위해 더 많은 노력을 기울일 수 있게 안내하는 역할을 할 수 있을 것이다.

둘째로 개발하고 있는 과제의 기술 및 품질수준이 세계일류 수준에 도달케 하여야 한다. 기술수준은 현재 국제경쟁을 주도하고 있는 유사제품의 주요기술수준과 과제의 목표 및 실제 구현수준을 비교하며 이를 통해 개발담당자가 부단히 첨단기술의 실현을 향해 전진케 도와주는 역할을

하려고 한다. 또한 앞으로 국제무역의 표준규정으로 적용되리라 예상되는 ISO 9001/2/3 - 일반사용자를 위해 생산자가 운영해야하는 품질보증시스템을 규정 - 에 따라 제조자(개발담당자)가 제품설계로부터 출하에 이르는 전 제조과정을 일반수요자가 신뢰할 수 있게 관리하도록 안내하는 역할도 하고자 한다.

셋째로 개발된 과제의 경제적 가치의 국제경쟁력을 계량적으로 평가하려고 한다. 궁극적인 개발목표는 생산된 제품이 국제시장에서 경쟁력을 확보하는 것이다. 여기서 먼저 고려해야할 사항은 우리 나라 제품이 개발되어 출하될 경우 일본의 경쟁사들이 많이 채용하는 저가정책을 고려한 가격을 비교하도록 하는 것이다. 이러한 일본의 가격정책까지도 고려한 개발이 이뤄졌을 때 비로서 그 제품은 국내외시장의 생존경쟁에 참여할 자격을 갖췄다고 할 수 있을 것이다.

이러한 기본개념을 구현시킬 수 있는 평가요소들을 기술성, 신뢰성, 안전성 및 경제성 등 4종류로 구분하고 각 특성별 평가세부항목들을 다음과 같이 개발하였다.

2-1. 기술성

공작기계 기술의 발달을 주도하고 있는 두 요소는 “빠른 생산과 고품질 (Faster Production and Higher Quality)” 이다 [5]. 이를 보다 효율적으로 구현시키기 위한 세부노력들을 정리하면 다음과 같다 [5,6].

◆ 고속가공을 위한 기술: 고속주축장착, 고속이송속도 등의 채택

◆ 가공시간의 효율을 높이기 위한 기술: 공구교환시간단축, Pallet 교환시간 단축등 비절삭작업에 소요되는 시간을 줄이던가 없애는 노력

◆ 복합 및 다기능작업을 실현시키려는 기술: CNC 선반에 Machining Center의 기능을 추가시키고 (Turning Center), Machining Center에는 Turning 기능을 강화해나가면서 원래 자신이 갖고 있던 고유기능중의 부족한 기능을 보완 또는 추가해 나가려는 노력

◆ 단독기계로의 용도와 자동화제조시스템 구축을 위한 Module로의 용도를 병행시키려는 노력

◆ 고정밀 가공을 실현시키면서 후공정 (주로 연삭등)을 줄이려는 노력 등

이와 같은 기술들을 사용자의 입장에서 편의상 아래와 같이 세부류로 나누고 이들을 평가하는 구체적인 세부항목과 방법을 제안한다.

1] 품질 수준과 관련된 평가요소

기계의 사용자가 결과적으로 얻을 수 있는 고정밀가공의 수준을 평가하기 위한 평가방법이 국가 및 업체별로 각각 다르게 사용되어 왔으나 지금은 각국별로 통일된 규격을 제정해 나가고 있으며, 특히 국제적으로는 ISO 규격으로 통일하려는 노력을 하고 있다. 특히 ISO 9000시리즈의 영향으로 사용자 입장에서 제품의 품질을 보증하려는 방향으로, 보다 간단히 품질을 검사하는 방안이 개발 제시되고 있다 [7,8,9].

본 과제에서도 이러한 흐름에 맞추는 것이 첨단생산시스템개발의 목표인 국제경쟁이 가능한 기술과 품질을 갖춘 제품의 개발에 도움이 된다고 믿는다. 그러므로 본 과제에서도 품질검사의 규격으로 ISO의 규격을 이용할 예정이고, ISO 규격이 제정되지 않았을 경우에는 가용한 ISO/DIS → ISO/CD → ISO/WD 등의 자료를 활용하고 이러한 자료도 ISO에 준비되지 않

았다면 선진국 중 국가규격을 갖고 ISO규격화를 주도하고 있는 나라의 규격을 원용하고, 이것도 없을 경우는 유사한 제품의 ISO 규격이나 선진 제품 제조회사의 검사규격 중에서 적절한 것을 활용하여 검사규격을 만든다. 특히 사용자의 입장에서 간단히 기계의 종합적 품질을 평가하는 방법이 제시되었을 경우에는 이러한 방법을 채용할 것을 권장하려고 한다.

2] 생산성 향상과 관련한 기술수준 평가요소

위의 기술적 노력중 생산성 향상과 관련된 항목은 고속가공을 위한 기술과 가공시간의 효율을 높이기 위한 기술이다. 이들을 측정할 수 있는 요소와 방법의 일부를 사용자의 입장에서 정리하면 다음과 같다.

(1) 고속가공을 위한 기술: 사용자가 활용할 수 있는 최대가공(주축속도 및 이송속도별) 능력을 시험하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

(2) 가공시간의 효율을 높이기 위한 기술: 사용자가 얻을 수 있는 순 절삭시간을 평가하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

3] 자동화와 관련한 기술 수준 평가 요소

사용자(대부분 자동화제조시스템 구성자)가 활용할 수 있는 자동화의 용이성 여부를 평가하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

(1) 복합 및 다기능작업을 실현시킨 정도를 비교한다.

(2) 단독 용도와 자동화제조시스템 구축용도를 병행시키려는 노력등을 평가한다.

2-2. 신뢰성

사용자의 입장에서는 기계의 평균고장기간(MTBF)을 예측(평가)하여 주는 것이 가장 중요하다고 생각한다. 그러나 이 평균고장기간(MTBF)도 신뢰도공학적인 정의에 따라 예측한다는 것은 현실적으로 대단히 어려운 실정이다. ISO9000 에서 품질경영의 목표가 사용자의 입장에서 품질의 안정성확보라고 보면 이를 구현하기 위한 다음과 같은 과정 적인 노력과 결과물을 시험하는 것으로 이 신뢰성의 평가를 시도할 수 있을 것이다.

1] 품질보증원의 교육내용과 수준을 평가한다. 기계의 핵심부품과 기술요소들의 목표치에 대한 설정내용과 현재 측정치를 이해하고 목표치와의 차이를 관리하고 있는 수준을 측정하므로써 평가할 수 있을 것이다.

2] 최종목표 달성을 위한 단위 구성품으로부터 일부조립품의 목표치 설정 기준의 근거, 적합한 검사방법의 설정, 향상방안 등이 제정 관리되고 있는 수준을 평가한다.

3] 운반 설치도중에 나타날 수 있는 충격 등의 악조건 이후, 즉 사용자 공장으로 이동후에도 기계의 기술수준 및 신뢰성 수준을 그대로 유지시키기 위해서는 실제작업현장에서 일어날 수 있는 최악의 운반 설치조건을 Simulation 한후 다시 기술수준과 신뢰성 수준을 시험하여야 한다. 이러한 시험방법을 준비하고 실행하는가의 여부도 평가하여야 한다.

4] 최종결과물(완성된 기계)을 일정시간 연속가동(가공도 포함)하는 것으로서 평가할 수 있다.

2-3. 안전성

제조시스템 구축에 사용되는 것이 주목적인 기계인 경우에는 선진제국에서 제조시스템의 사람과 환경에 대한 안전성에 대해 규정해 나가는 ISO/DIS11161에 적합한 제조시스템을 설계 생산해야 할 것이다. 특히 국제시장진출을 위해서는 더욱 ISO/DIS11161를 고려하여야 할 것이다.

단독으로 많이 사용될 기계라도 미국, 독일, 영국 등의 전기(JIS B6015, IEC 204-1등) 또는 기계부문(ANSI B11 Series, ISO/TR12001-1&2, JIS B6014, BS 5304, DIN 31000등)의 안전규격을 충분히 고려하여 설계 제작되어야 하며 앞으로 자동화 추세에 맞춰 ISO/DIS11161에 대한 고려도 하는 것이 좋을 것이다.

2-4. 경제성

개발과제의 궁극적인 개발목표는 생산된 제품이 국내외시장에서 경쟁력을 확보하는 것이다. 그러므로 중요한 평가요소 중 하나는 시장에서 가격경쟁력을 평가하는 것이다. 특히 우리나라에서 일본과의 경쟁제품이 개발될 경우 그들이 많이 채용하는 저가정책까지도 고려한 평가가 이뤄져야 할 것이다. 이러한 경제성을 평가하는 방법은 다음과 같이 세 종류로 대별할 수 있을 것이다. 첫째로는 경제적 가치를 개발과제와 동일 또는 유사한 제품(즉, 기술성, 신뢰성 및 안전성 등의 수준이 동일하다는 가정)과 가격만을 고려하여 국제경쟁력을 비교하는 것으로 절대적 평가방법이라 칭하겠으며, 두번째로는 제품의 가격에 기술성, 신뢰성 및 안전성 등의 수준차이에 따른 영향까지 고려한 상대적인 경제적 가치를

비교하여 국제경쟁력을 비교하는 것으로 상대적 평가방법이라 칭하겠다. 세번째로는 특정한 사용자의 입장에서 투자타당성을 평가하여 경제적 가치를 비교하는 것으로 투자타당성 평가방법이라 칭하겠다. 그러나 두번째나 세번째의 평가방법은 기술성, 신뢰성 및 안전성을 통합한 성능평가 방법이라 할 수 있으며 특히 세번째(투자타당성 평가방법)는 용도 및 사용자가 결정되어야만 적용될 수 있다는 한계가 있으므로 본 논문에서는 적용하지 않고 첫번째의 방법(절대적 평가방법)을 경제성 평가요소로 적용하고 두번째 방법(상대적 평가방법)은 다음의 사례에서 종합적인 국제경쟁력을 평가할 수 있는 평가모형으로 취급할 것이다.

3. Machining Center의 성능 평가요소 개발 및 적용 모형제안

앞에서 설명된 기술성, 신뢰성, 안전성 및 경제성의 세부평가항목을 FMS용 Machining Center 에 적용하여 보다 구체적인 평가항목과 기준을 제안하면 다음과 같다.

3-1. 기술성

공작기계 기술의 발달을 주도하고 있는 두 요소인 “빠른 생산과 고품질 (Faster Production and Higher Quality)” 의 향상에 가장 많은 노력을 기울이고 있는 분야가 Machining Center 이다.

1] 품질 수준과 관련된 평가요소

사용자가 결과적으로 얻을 수 있는 고정밀가공의 수준을 평가하기 위한 평가방법이

국가별로 조금씩 다르게 사용하여 왔으나 지금은 거의 ISO(ISO 230계열)규격으로 통일되어 나가고 있는 추세이다. 특히 종합적인 수치제어공작 기계의 동적 및 정적정밀도와 가공정밀도시험방법은 미국의 규격인 ASME B5.54-1992 가 먼저 제정되었고 ISO규격화를 위해 노력중이다[(ISO 230-4(WD,1992)]. 특히 사용자의 입장에서 간단히 기계부문과 수치제어부문의 종합적인 정밀도 능력을 형상정밀도(Contouring Accuracies)로 평가하려고 Telescoping Ball-Bar Test 방법을 제시하였다. 그러나 측정기 개발자와 국가간의 이해가 엇갈려 많은 논란 중에 있다 [8].

그러므로 본 연구에서는 개발시의 목표달성여부 확인을 위한 정적 및 동적 정밀도와 가공정밀도를 ISO의 규격과 Working Draft(ISO 230-4:WD,1992)를 활용할 것을 제안한다. 특히 사용자의 입장에서는 레이저 Interferometer를 이용한 정밀도 및 Contouring Accuracies와 가공정밀도 (Complementary Practical Test) 중 <표1>과 같은 중요요소만 검사하여도 충분할 것이다.

<표 1> 주요 가공정밀도 평가항목

순	내용	기준	개발목표	선진일류
1	Circularity	0.0075	0.005	0.004
2	Cylindricity	0.01/100	0.005/100	0.004/100
3	Flatness	0.015		0.005
4	Perpendicular	0.02/300		0.01/300
5	Contouring Accuracies	0.040		0.01

2] 생산성 향상과 관련한 기술수준 평가요소

고속가공을 위한 기술과 가공시간의

효율을 높이기 위한 기술을 측정할 수 있는 요소와 방법의 일부를 사용자의 입장에서 정리하여 제안하면 다음과 같다.

(1) 고속가공을 위한 기술: 사용자가 활용할 수 있는 최대가공 능력을 시험하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

① 고속주축장착: 최대 RPM, 최대마력, 최대 추력시 RPM

② 고속이송속도: 최대 속도

③ 종합능력 평가: 재료별 최대 가공속도 와 MRR (Material Removal Rate) 및 동력효율

(예) SUS 304를 Endmill로 가공할 때의 이송속도, 최대 RPM, MRR, MRR/kw등을 평가하고 이를 선진자료와 비교

MAKINO ; Face mill: 336 (cm³/min)

RU. End mill: 154 (cm³/min)

Carbide drill: 133 (cm³/min)

(2) 가공시간의 효율을 높이기 위한 기술: 사용자가 얻을 수 있는 순 절삭시간을 평가하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

① ATC 의 Tool to Tool Time, Chip to Chip Time

② APC 의 Pallet 교환에 소요되는 시간 (Chip to Chip 기준)

③ 종합능력 평가: 적정 프로그램을 개발하여 일정시간 연속작업 (실제는 칩의 생산없이 절삭시험을 하여도 가능할 것임) 을 하여 일정 제품을 생산하는 데 소요되는 시간이나 일정시간중 주축의 실 절삭에 소요된 시간의 비율을 구해 평가한다.

3] 자동화와 관련한 기술 수준 평가

요소

사용자(자동화제조시스템구성자)가 활용할 수 있는 자동화의 용이성 여부를 평가하고 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교할 수 있는 항목과 기준을 다음과 같이 제안한다.

(1) 복합 및 다기능작업을 실현시키려는 노력: 전통적으로 선삭라인에 속했던 나사가공과 대형외경 가공능력을 수행할 수 있는 기능을 추가했는가의 여부와 실제가공성능을 평가한다. 이를 가용한 선진제품의 자료와 비교한다.

① 외경가공에 사용하는 장치의 자동공구교환가능한 최대외경

② 최대 절삭조건과 MRR/kw

(2) 단독용도와 자동화제조시스템 구축용도를 병행시키려는 노력

① Tool Transport 기능을 수행하는 장치의 확장가능 여부 및 장치의 공구교환 시간

② 임의 Pallet 교환시의 정도유지 수준

③ 임의 공구 교환시의 정도유지 수준 (Spindle Taper 부위의 이물질 유입방지를 통한 내구성 유지기능)

3-2. 신뢰성

본 과제의 목표인 기계의 평균고장기간 (MTBF) 3000시간의 신뢰성을 평가할 수 있는 항목과 기준을 다음과 같이 제안한다.

1] 품질보증원의 교육내용과 수준을 다음항목들의 세부사항들을 어떻게 교육받아 이해하고 관리하고 있는지를 평가한다.

2] 최종목표 달성을 위한 단위 구성품으로부터 일부조립품의 목표치 설정 기준의 근거,

적합한 검사방법의 설정, 향상방안 등이 제정 관리되고 있는 수준을 다음과 같이 평가할 것을 제안한다.

(1) ATC 의 Tool to Tool 교환시간 및 MTBF 목표달성을 위한 단위부품, 일부 조립품 및 최종조립품의 검사기준과 검사방법의 설정 근거와 구체적인 검사방법 (시험장비등) 도 이에 부합되도록 설정되고, 담당자의 향상목표와 방안도 함께 관리되고 있는가를 평가한다.

(2) 내환경 신뢰성

① 유압 Unit 와 Valve류의 아주 나쁜 공장환경내에서 기능의 안정성시험

② 절삭유, 먼지 등의 환경에서 Seal, O-ring의 수명시험 등

(3) 소모품 및 보안품의 결정 및 수명 평가

(4) 가장 고장율이 높다고 생각되는 Unit (ATC) 의 수명시험 및 수명향상대책 등

3] 운반 설치도중에 나타날 수 있는 충격 등의 악조건 이후, 즉 사용자 공장으로 이동후에도 기계의 기술수준 및 신뢰성 수준을 그대로 유지시키기 위해서는 실제작업현장에서 일어날 수 있는 최악의 운반 설치조건을 Simulation 한후 다시 기술수준과 신뢰성 수준을 시험하여야 한다. 이러한 시험방법을 준비하고 실행하는가의 여부도 평가하여야 한다.

4] 완성된 기계를 72시간이상 연속가동 (가공도 포함) 하여 평가할 수 있다.

3-3. 안전성

Machining Center는 자동화제조시스템 구축에 사용되는 것이 주목적이므로 선진제국에서 제조시스템의 사람과 환경에 대한 안전성에

대해 규정해 나가는 ISO/DIS11161 (제안규격) 에 적합한 제조시스템을 설계·생산해야 할 것이다. 그러므로 이 제안규격을 활용하여 평가항목과 기준을 만들 것을 제안한다.

3-4. 경제성

기계개발목표와 유사한 기술성, 신뢰성 및 안전성을 갖고 있는 선진제품의 경쟁가격 대당 개발품의 시장 예정출하가격을 비교한다. 여기서 선진제품의 경쟁가격은 특히 일본의 저가정책을 고려한 가격이 되어야 할 것이다.

3-5. 적용모형

이러한 네 종류의 평가요소를 이용하여 Machining centers의 성능을 경쟁제품과 비교평가하거나 국제경쟁력의 달성정도를 평가하기 위해서는 이러한 평가요소를 변수로 이용하는 적절한 평가모형이 필요하다. 또한 적절한 평가모형을 이용하므로 평가작업도 편리하고 합리적으로 수행할 수 있다. 그러므로 이러한 역할에 합당한 가장 간단한 평가모형이면서 널리 사용되고 있는 Weighted scoring sum method와 비교평가기 Robustness가 뛰어난 AHP (Analytic Hierarchy Process) 를 적용할 것을 제안한다 [10,11].

3. 결론 및 앞으로 할일

G7 프로젝트로 개발중인 첨단생산시스템 (FMS로부터 CIM까지)의 핵심구성요소인 고성능·고정밀공작기계의 성능을 평가할 수 있는 요소를 개발하고 사례로서 이를 Machining Centers에 적용하여 각 요소별 일부세부항목과 기준을 개발하여 제안하였다. 또한 이 평가내용을 국제

경쟁제품과 비교하거나 국제경쟁력 달성정도를 평가할 때 용이하게 사용할 수 있는 적절한 평가 모형도 제안하였다.

그러나 제안한 평가방법이 연구개발 (기계 및 시스템) 의 목표를 효율적으로 달성하는데 실질적인 안내역할을 하게 위해서는 본 연구에서 제안한 세부평가항목과 기준들을 관계전문가와 해당과제 개발담당자들과 함께 토의할 수 있는 안으로 사용하여 검토되고 개선되어야 한다고 생각한다. 이러한 검토와 합의 과정을 통해야만 실질적인 안내역할이 가능할 것이고 개발된 기계를 바로 평가할 수 있는 평가방법이 개발될 수 있을 것이다.

앞으로 이러한 과정을 통해 평가방법을 개선하고 이를 이용하여 개발완성된 기계들의 사례연구를 실시하여 타당성을 검증해 보려고 한다.

<참 고 문 헌>

- [1] R. A. Lindberg, "Processes and Materials of Manufacture", Allyn and Bacon, P.14
- [2] 정경렬, 편영식, 박종현, 장경영, 이종범, 김미경, "기술경쟁력제고를 위한 개발제품 및 시스템의 성능평가방안", 제2회 첨단생산시스템 Workshop, 1994, 서울, P. 97.
- [3] 편영식, "시스템 평가요소 및 운용모형 개발 (1차년도 중간보고서)", 통상산업부, 생산기술연구원, 1994
- [4] 첨단생산시스템개발 "94년도 사업선정을 위한 제안요구서", 생산기술연구원 생산시스템개발센터, 1993.
- [5] R. Aronson, "Machine Tool 101: Part 1 Trends, Part 2 Frames & Ways, Part 3 Spindles & Motors, Part 4 Tools & Holders, Part 5 Controls, Part 6 Machine Servers, Part 7 Machine Tools of the Future", Manufacturing Engineering, January - July 1994.
- [6] M. Weck, "Handbook of Machine Tools, Volume 1, 2, 3, 4", John Wiley & Sons, 1984
- [7] W. Knapp and E. Zurich, "Test of the Three-Dimensional Uncertainty of Machine Tools and Measuring Machines and its Relation to the Machine Errors", Annals of the CIRP Vol.32/1/1983, P. 459.
- [8] M. Tsutsumi, "Evaluation of Performance of NC Machine Tools", The Association for Overseas Technical Scholarship Japan Machine tool Builders' Association, Singapore, February, 1993.
- [9] J. B. Bryan, "A simple method for testing measuring machine and machine tools, Part 1, Principles and applications", Precision Engineering, 4-2, 1982, P.459.
- [10] Demmel, J. G. and R. G. Askin, "A Multiple Objective Decision Model for the Evaluation of Advanced Manufacturing System Technologies", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 11, No. 3, 1992, P. 179
- [11] Wabalickis. R. N. "Justification of FMS with the AHP (analytic hierarchy process)", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 3, 1988, P. 175

이 보고서는 통상산업부에서 시행한
공업기반기술개발사업의 지원을 받았음