

# 작업자의 작업성향상을 위한 작업설계시스템의 개발

임석진<sup>†</sup> · 박병태<sup>\*</sup> · 박면웅<sup>\*\*</sup> · 백승렬<sup>\*\*\*</sup> · 정석재<sup>\*\*\*\*</sup>

인덕대학 산업시스템경영과 · <sup>\*</sup>명지전문대학 산업시스템경영과 · <sup>\*\*</sup>한국과학기술연구원  
지능인터랙션연구센터 · <sup>\*\*\*</sup>인천대학교 산업경영공학과 · <sup>\*\*\*\*</sup>연세대학교 산업시스템공학과  
(2007. 8. 23. 접수 / 2007. 11. 21. 채택)

## Development of Operation Planning System for Worker's Productivity

Seok-Jin Lim<sup>†</sup> · Byung-Tae Park<sup>\*</sup> · Myon-Woong Park<sup>\*\*</sup> · Seung-Yeol Paik<sup>\*\*\*</sup> · Suk-Jae Jeong<sup>\*\*\*\*</sup>

Department of Industrial System Engineering, Induk Institute of Technology

<sup>\*</sup>Department of Industrial System Engineering, Myongji College

<sup>\*\*</sup>Intelligence & Interaction Research Center, Korea Institute of Science & Technology

<sup>\*\*\*</sup>Department of Industrial & Management Engineering, University of Incheon

<sup>\*\*\*\*</sup>Department of Industrial Systems Engineering, Yonsei University

(Received August 23, 2007 / Accepted November 21, 2007)

**Abstract :** In manufacturing industry, machining technology for metal cutting processes has been considered traditional and economic dimensions such as production cost, production time and quality of a final product. However, owing to governmental regulations and the change of owner's cognizance, the safety of the workers becomes important in those fields. In this paper, the operation planning system developed as a key component of CAPP(Computer-Aided Process Planning) system is introduced for milling operations. The main issue in the system is to determine the cutting conditions in achieving a balanced consideration of productivity and worker's safety. For this reason, the system performs the modification process of standard cutting conditions to satisfy those requirements. Related to machining safety in metal cutting, representative and habitual mistakes that operators perform without considering carefully the characteristic of machine or work piece are described and then the detailed algorithm and functions of the developed system is introduced and discussed.

**Key Words :** worker's safety, process planning, operation planning, cutting condition, CAPP, information system

### 1. 서론

현재까지 기업은 경쟁력 확보와 소비자의 요구를 충족시키기 위하여 다양하고 좋은 품질의 제품을 저가로 대량생산하기 위한 생산 기술 측면의 노력에 집중하여 왔다. 하지만 이와 같은 가공 경제성만을 고려한 생산방식으로 인하여 야기되는 환경오염과 작업자 안전의 문제에 대해서는 상대적으로 소홀이 취급되어 온 것이 사실이다. 이러한 결과로 가공과정에서 발생하는 폐자재, 분진과 절삭유 등으로 인한 환경오염 문제와 작업자의 안전에 대한 인식부족으로 인한 산업재해의 발생 등으로 분

쟁이 빈번해지고 있다.

최근 정부 및 국제적 규제, 그리고 기업주의 인식 변화로 작업자 안전문제와 작업장의 작업환경개선을 고려한 생산기술이 중요시 되고 있으며 이에 대한 대응책을 마련하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이와 관련하여 제조 프로세스의 기본목표인 고품질의 다양한 제품개발과 같은 제조생산성 및 경제성의 향상뿐 아니라 생산제조단계에서부터 가공폐기물 및 인체 유해물질의 발생을 억제하거나 최소화 하고 작업자 안전요소도 동시에 고려하는 연구가 수행되었으며<sup>1,2)</sup>, 특히, 작업자 안전을 고려한 생산기술은 자재 및 공구 폐기량의 감소, 인체 유독성 감소, 절삭유 사용량 감소등과 같은 환경 측면과 에너지 절감, 가공을 향상, 제조원가 절감 등

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
bigteach@induk.ac.kr

의 경제성 측면 그리고 안전한 작업방법이나 조건의 제시와 같은 작업자의 사고 방지와 예방을 동시에 강조하고 있다.

본 연구에서는 작업자 안전을 고려한 생산기술 개발의 일환으로, 밀링 절삭가공 공정을 대상으로 공정계획을 수행하는 공정계획시스템(CAPP ; Computer-Aided Process Planning)의 핵심 모듈인 작업설계시스템(Operation planning system)을 개발하였다. 일반적으로 공정계획은 공정의 종류와 순서를 결정하는 공정설계 기능과 개별 공정에서 필요한 세부 파라미터를 결정하는 작업설계 기능으로 구분될 수 있다<sup>3)</sup>. 사용할 공구 및 홀더, 절삭조건(절삭깊이, 이송속도, 절삭속도 등)을 이 작업설계시스템에서 결정한다. 특히 작업설계시스템에 결정하는 절삭조건은 가공시간의 감소와 절삭량의 극대화와 과도한 절삭력에 의한 작업자의 사고와 제품 불량, 그리고 환경 문제를 사전에 방지하여 고품질의 절삭을 기대하기 위한 핵심 파라미터이다. 본 연구에서는 이러한 작업설계시스템을 개발하기 위하여 기존 연구<sup>4,5)</sup>에서 제안하고 검증한 최적 절삭조건 결정 알고리즘을 적용 하여 작업자의 안전을 고려한 실질적인 시스템의 구현이 가능하도록 하였다.

## 2. 절삭가공과 작업자의 안전

기존의 생산방식은 가공 경제성 측면만이 강조되어 빠른 시간에 많은 제품을 생산하여야만 하였으므로 인하여 공작기계(Machine)의 과도한 회전수로 인한 공구의 부러짐으로 작업자가 부상을 당하는 등 작업자가 위험에 노출되거나 실제로 부상당하는 사례가 보고되었다. 절삭가공시 발생하는 사고발생 유형 및 발생 원인을 정리하면 다음과 같다.

- 공작기계의 전압, 유압 또는 공기압의 변동, 정전 기타 이상발생 시에 공작기계에 의한 위험 발생
- 과도한 공구회전수에 의한 공구 부러짐 발생으로 인한 작업자 안전사고위험.
- 공작기계의 작동 중에 칩을 제거하여야 하는 경우 칩을 제거하기 위해 근로자의 신체 일부가 공구 또는 작동물체에 접촉함으로써 인한 사고위험.
- 냉각제 및 절삭유에 장시간 노출됨으로 인한 사고위험.
- 소음에 장시간 노출됨으로 인한 사고위험.
- 진동에 장시간 노출됨으로 인한 작업자 근골격계 질환 발생위험.

따라서 절삭조건은 기계가 충분한 성능을 발휘하도록 작업하는 가공경제성 측면과 공구와 기계의 파손 및 공구의 급격한 마모로 인하여 작업자가 위험에 처하게 되는 작업자 안전 문제를 예방하는 안전성측면이 동시에 고려되어 적절하게 선정되어야 한다. 본 연구에서는 과도한 공구회전수에 의한 공구 부러짐 발생으로 인한 작업자 안전사고위험과 소음, 진동 등의 예방을 위하여 절삭조건 선정시 작업자의 노하우의 활용과 아울러 해당 작업에 적절한지 여부를 판별할 수 있는 절삭조건을 Filtering 하는 알고리즘을 시스템에 적용하였다.

## 3. 작업설계시스템의 설계

### 3.1. 작업설계와 가공 메커니즘

공정계획의 목표는 가공 노하우를 체계화하여 작업의 효율을 높여 생산성을 향상시키는데 있다. 엔지니어나 작업자의 경험이 편차 없이 최적의 결과를 기대할 수 있고 모든 생산 정보의 생성과 변환이 자동으로 이루어질 첨단 생산 시스템에서는 설계 정보로부터 가공 정보를 결정하는 작업을 공정계획시스템에서 수행 한다.

공정계획은 공정의 종류와 순서를 결정하는 공정설계 기능과 개별 공정에서 필요한 파라미터를 결정하는 작업설계 기능으로 구분될 수 있다. 따라서 공정별 세부 작업내용, 이를 위한 공구 및 홀더, 절삭깊이 및 폭, 이송속도 및 절삭속도의 결정을 작업설계 시스템에서 결정한다. 절삭가공 대상은 형상에 따라 회전형 가공물(Rotational part)과 각주형 가공물(Prismatic part)로 대별되는데<sup>6)</sup>, 전자는 선반에 의해 가공되고 후자는 밀링, 드릴링, 보링 머신 혹은 머시닝 센터에 의해 가공된다.

선삭공정들은 기본적으로 한 가지 메커니즘(Mechanism)으로 표현될 수 있고, 이차원 절삭으로 단순화할 수 있어 회전형 가공물의 공정 및 작업설계를 위한 비교적 실용적인 시스템이 발표되어 왔다<sup>7,9)</sup>. 반면, 본 연구의 대상 공정인 밀링작업은 메커니즘을 대표할 수식이 제한적이며 공정과 공구의 종류가 다양하여 해석적인 알고리즘에 의한 시스템을 개발하는데 어려움이 있다. 그러므로 현재까지의 밀링 공정을 위한 실용적인 작업설계시스템에서는 가공 데이터 핸드북(Machining data handbook)등에서 제공하는 절삭조건을 이용하여 표준 절삭조건 데이터베이스를 구축한 후 공정, 재질 등에 따라 검색하게 되어 있다<sup>10,11)</sup>.

본 연구에서 개발된 절삭조건 최적화 모듈에서는 검색된 표준 절삭조건을 작업자의 안전을 고려하여 신경회로망(Neural network) 모델을 이용하여 기계의 과부하 및 공구의 부러짐현상을 방지하고 절삭력을 확보하기 위한 이송속도와 절삭속도를 작업자의 경험에 의한 지식을 이용하여 입력하고 이를 신경회로망을 이용하여 수정하고 실 절삭 후 발생하는 절삭조건을 실시간 갱신하는 기능을 제공 한다.

### 3.2. 데이터베이스 설계

작업설계시스템의 개발을 위한 데이터베이스는 다음과 같은 요소를 고려하여 구축하였다.

- 데이터의 관계(Relation)를 효율적으로 구현
- 현장상황에 맞게 커스터마이징이 가능한 구조
- 변화에 대한 빠른 대응을 위하여 관련 데이터의 에이전트(Agent)화가 가능한 구조로 전환

작업자의 안전이 보장되면서 동시에 경제성을 달성할 수 있는 실현 가능한 작업설계시스템을 개발하기 위해서는 의미 있는 절삭조건 관련 데이터의 수집이 매우 중요하다. 본 연구에서는 다음과 같은 데이터를 수집되어 데이터베이스화 하였다.

- 가공데이터핸드북<sup>12)</sup>에서 제공된 표준가공조건
- 공구 제조사(SANDVIK, 대한중석, 한국야금, 양지원, Sumitomo 등)에서 제공하는 가공 정보
- 10여년 관련과제 수행하며 수집한 현장데이터
- 현업에 종사하는 작업자의 가공지식(Knowledge)

Table 1은 본 연구에서 작업설계시스템을 위하여 설계한 데이터베이스의 구조를 표현한 것이다.

데이터베이스를 구축하기 위하여 공구제조사에서 제공하는 공구, 홀더, 표준 절삭조건 데이터 그리고 현장의 노하우를 수집한 절삭조건등을 이용하여 5종류의 기본 절삭가공 DB - 공구, 피삭재, 공구 홀더, 장비 및 표준 절삭조건 - 와 가공 지식 DB를 ORACLE RDBMS를 이용하여 구축하였다.

본 시스템에서는 작업설계 시 해당 작업내용에 대한 작업자의 Knowledge를 수집하여 안전성이 보장된 가공절삭조건 데이터가 작업설계이력으로 관리하며 해당 작업관련 정보가 있다면 가장 적절한 것으로 간주하여 작업설계 시 해당 절삭조건을 반영한다. 따라서 실제 작업현장에 적용한 수정된 절삭조건을 제시할 수 있고 또한, 작업설계 개선 시 참

Table 1. Database design

테이블의 종류	테이블 이름
일반 관리 정보	STATUS_MGT PRODUCT PART DRAWING DIVIDED_DRAWING
피삭재 정보	RAW_MATERIAL
공작기계 정보	MC
특징형상 정보	NFD FEAT_VOLUME FEAT_TO_PART PRECED_TREE FEATURE_SET FEATURE_SET_TEMP
형상과 공차정보연결	GEO_TO_TOL
공차 정보	TOLERANCE
공정/작업 설계 정보	PROCESS MILLING_OPER ALONE MILLING_OPER TURNING_OPER
검사 계획 정보	INSPECT_MGT INSPECT_TEST
작업 설계 이력정보	STANDARD_TOOL

고자료로 이용하여 유사 가공조건에서 유용한 정보로써 활용될 수 있다. 또한 Neural network과 Filtering을 이용 기계부하를 고려한 절삭조건적 적절성을 평가할 수 있도록 DB를 구성하였다.

### 3.3. 시스템 설계

자동으로 인식한 특징형상정보를 이용하여 공정 설계 모듈에서 공정의 종류와 순서, 기계 등이 결정되면 작업설계시스템에서는 세부 공정별 작업내용을 결정하고 해당 작업내용에 맞는 공구, 공구홀더, 절삭량(절삭깊이, 절삭폭), 절삭조건(절삭속도, 이송속도)을 자동 혹은 수동으로 결정할 수 있는 기능을 제공하여야 한다. 작업설계 시스템의 구축을 위한 단위 시스템들의 구조는 다음과 같다.

#### 공구 및 홀더 결정

공정별 세부 작업내용과 가공 형상에 맞는 공구 및 홀더를 결정한다.

#### 절삭량 결정

결정된 작업내용 및 공구, 홀더를 고려하여 절삭폭과 절삭깊이를 산정한다.

#### 절삭조건 검색

결정된 작업내용 및 공구, 홀더, 절삭량을 이용

하여 표준 절삭조건을 검색한다.

### 절삭조건 수정 및 필터링

검색된 표준 절삭조건이 기계의 용량을 만족하지 못할 경우, 해당조건에 가까운 좌우 2개의 DB를 이용 보간(Interpolation)한 후 신경회로망의 입력값으로 사용한다. 또한 작업자의 경험을 이용 절삭속도와 이송속도를 수정하고 신경회로망 모델을 이용하여 수정율을 구하고 이를 통해 해당 절삭조건을 수정하고, 수정된 절삭조건이 작업자의 안전과 기계의 용량을 만족하도록 공정별 실험식을 이용하여 판정하고 수정하는 필터링(Filtering) 작업을 수행한다<sup>4,5)</sup>.

### 3.4. 작업설계시스템의 에이전트화

실제 작업현장에서는 공구나 홀더의 부재, 기계의 동력제한 등과 같은 예상치 못한 상황과 주어진 조건에 맞는 표준 절삭조건을 검색하는데 있어 해당 조건에 대한 절삭조건이 데이터베이스에 존재하지 않을 경우, 적절한 절삭조건을 제시하지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 순차적으로 진행되던 기존의 프로세스(Process)를 개선하여 상황의 변화에 대응할 수 있도록 시스템을 설계할 필요가 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 기존의 절삭조건을 결정하는 과정에 에이전트를 적용할 수 있도록 프로세스와 시스템 구조를 설계하였다. Fig. 1은 절삭조건을 결정하기 위한 에이전트들의 기능과 정보의 흐름이고, Fig. 2는 절삭조건 결정 모듈의 에이전트화를 위한 클래스(Class) 설계 내용이다.

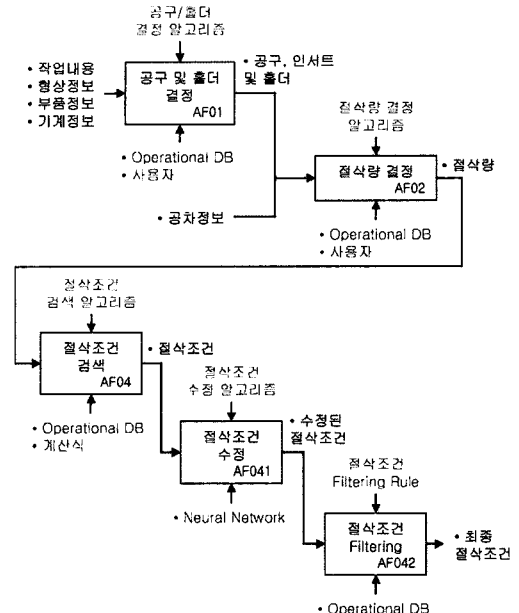


Fig. 1. Information flow of the operation planning system.

Fig. 3은 에이전트를 활용한 절삭조건 결정 과정을 보여준다. 본 연구를 통하여 개발된 작업설계시스템은 선형 모듈인 공정설계시스템에서 특징형상을 기반으로 CAD 파일을 자동으로 인식하여 공정의 종류와 순서, 기계 등을 결정하면 공정별 세부 작업내용, 공구, 홀더, 절삭량, 절삭조건을 자동 또는 수동으로 검색할 수 있다. 그러나 해당 작업에 대한 공구, 절삭조건, 작업내용 변경과 같은 변동이 발생하면 이를 에이전트를 통하여 재검색하는 구조로 설계하였다.

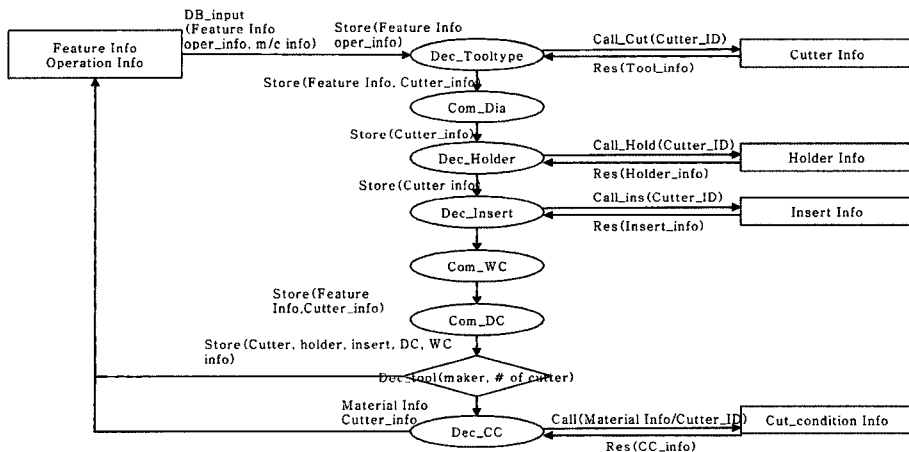


Fig. 2. Class design for the operation planning system.

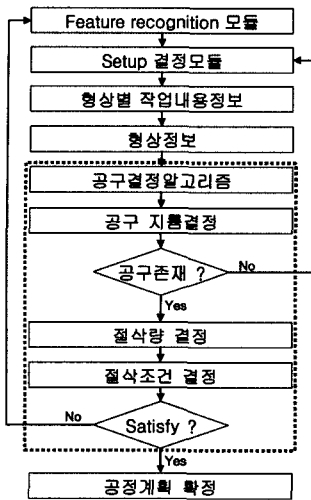


Fig. 3. Overall information flow of the process planning system applied the agent.

## 4. 작업설계시스템의 구현

### 4.1. 시스템 개요

본 연구에서 개발한 작업설계시스템은 지난 약 7년 동안 2개의 대학과 정부출연연구소에서 공작기계 제조업체를 대상으로 Solid Edge, ACIS, MS Visual Basic/C++, ORACLE RDBMS 등을 이용하여 개발한 공정계획시스템의 한 모듈이다.

공정계획시스템에 CAD 파일 형태의 형상정보와 소재, 부품 및 제품에 대한 일반 정보가 입력되면 공차 정보를 입력하고 가공 대상인 특징형상을 자동으로 인식하고 추출한다. 다음으로 대 공정설계 단계에서, 추출된 특징형상에 대하여 가공 공정을 선정하여 그룹핑하고 해당 공정에서 사용될 기계를 결정한다. Fig. 4는 본 연구에서 제안한 작업설계시스템의 하부 모듈 구성을 소개한 것이다.

다음으로 본 연구에서 개발한 작업설계시스템은 주어진 작업에 대하여 CAD도면을 자동으로 읽어들이고 후 피삭재, 장비 및 공정 정보 등에 대하여 세부 작업내용을 결정할 후, 해당 각 작업내용에 대하여 절삭공구, 공구 홀더, 절삭량을 결정하고 절삭조건을 검색 후 기계의 부하 및 절삭조건을 부재 문제를 해결하기 위하여 수정 및 필터링한다.

특히, 개발된 시스템은 절삭공구, 공구 홀더, 절삭량 및 절삭조건을 자동 혹은 수동으로 결정할 수 있으며, 검색된 표준 절삭조건을 신경회로망 모델을 이용하여 보다 효율적으로 수정할 수 있는 기능을 제공한다.

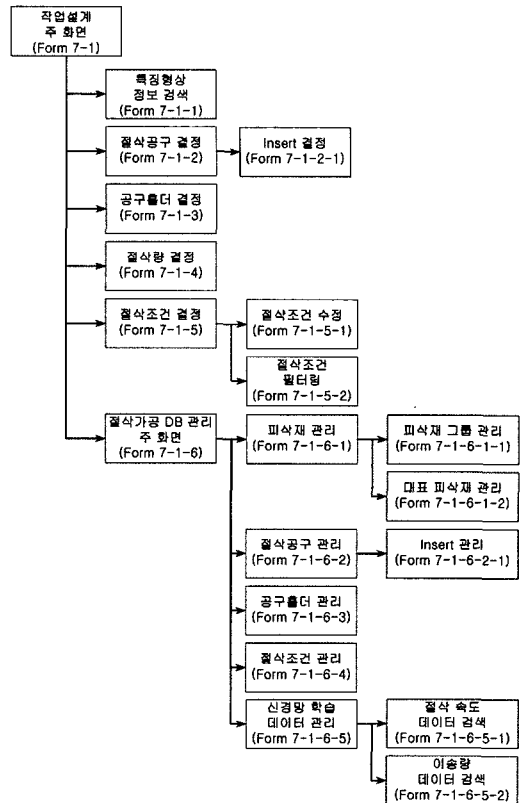


Fig. 4. Structure of the operation planning system.

필터링 모듈에서는 수정된 절삭조건이 선택한 공작기계의 성능에 맞는 지 체크하여 작업 시 과부하, 공구 부러짐 현상 등을 방지하여 작업자 안전성을 확보할 수 있으며 안전하지 않은 작업이라면 기계의 성능을 고려한 필터링 규칙에 의해 수정할 수 있도록 하였다.

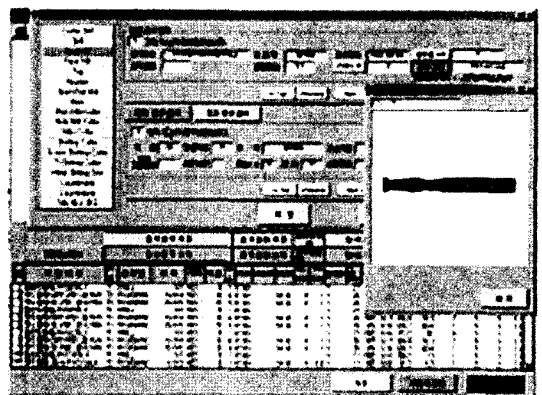


Fig. 5. Main screen and tool selection module of the operation planning system.

### 4.2. 작업설계시스템의 주요 모듈

Fig. 5는 작업설계시스템의 주 화면과 공구 선정 화면을 보여 준다. 입력된 공정정보와 형상에 대하여 세부 작업내용, 공구, 절삭조건 등을 출력한다.

공정별 세부 작업내용이 결정되면 각 작업내용에 대하여 대표 공구 정보와 형상의 크기에 따른 공구 지름, 그리고 필요 시 인서트를 제안하는 세부 공구 검색 및 추천이 이루어지며 다음으로, 선택된 공구에 적당한 공구 홀더, 즉 척(Chuck), 어댑터(Adapter), 콜릿(Collet)에 대한 개별 정보와 결합 정보를 제안한다. Fig. 6은 공구 홀더를 선정하는 화면을 보여 준다.

공구 및 홀더가 결정되면 Fig. 7에서 보는 바와 같이 절삭 폭 및 깊이와 같은 절삭량 정보가 자동으로 계산되어 제안된다. 필요하다면 수동으로 결정할 수도 있다.

세부 작업내용에 대하여 지금까지 결정된 피삭재, 공구, 공구 홀더 및 절삭량 정보를 이용하여 다음 단

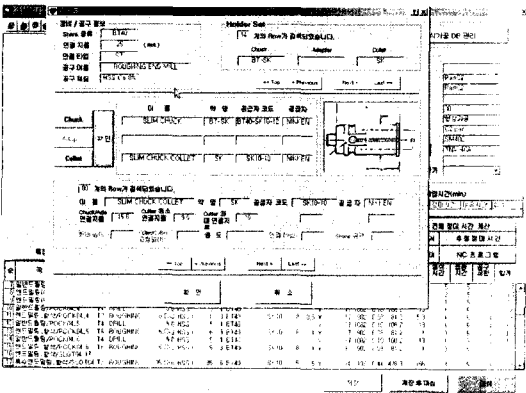


Fig. 6. Tool holder selection.

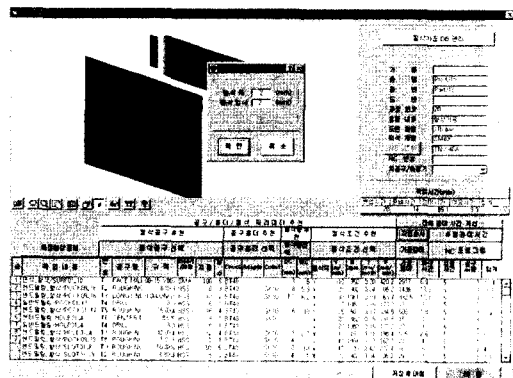


Fig. 7. Determination of depth and width of cut.

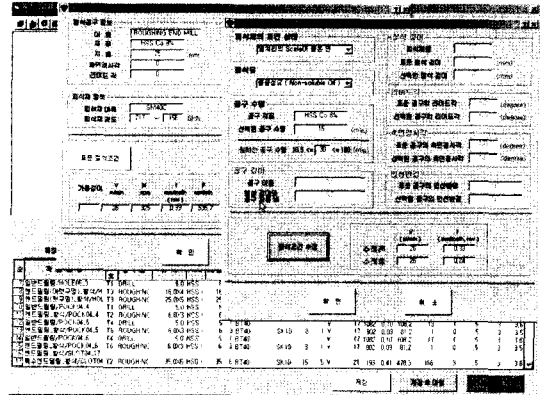


Fig. 8. Determination of cutting condition.

계에서 표준 절삭조건을 검색한다. 다음으로, 검색된 표준 절삭조건은 실제 가공 환경과 작업자의 안전을 고려하여 신경회로망 모델을 이용하여 수정된다. 수정된 절삭조건은 작업자의 안전과 기계의 용량을 만족하도록 공정별 실험식을 이용하여 판정하고 수정하는 필터링 과정을 거친다<sup>4,5)</sup>. Fig. 8은 표준절삭조건의 검색과 이를 수정하는 화면이다.

본 작업설계시스템에서 사용하는 데이터베이스에는 가공 관련 데이터, 작업자의 가공 지식뿐만 아니라 작업설계시스템에서 제공된 작업내용, 공구 및 홀더 정보, 절삭조건 정보를 활용하여 작업자가 현장에서의 절삭작업을 통하여 얻어지는 최종 절삭조건도 포함한다. Fig. 9는 이러한 데이터나 지식을 관리하기 위한 화면을 보여 주는데, 이를 통하여 유사한 공정이나 동일 작업을 수행하기 위해 검색 시 현재 저장되어 있는 데이터 중 최적의 절삭조건을 학습하고 제공할 수 있다.

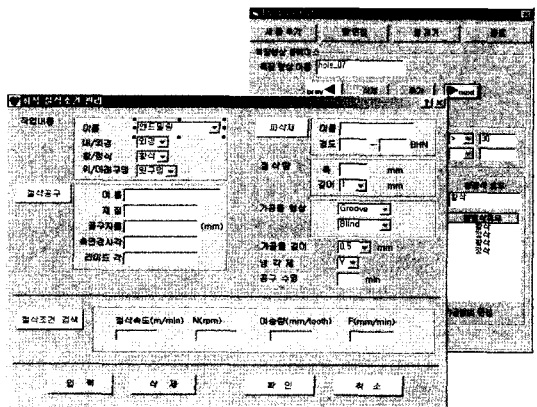


Fig. 9. Management of database and knowledge-base.

## 5. 결론 및 토의

작업자 안전에 대한 정부의 규제와 작업자의 안전에 대한 요구로 인하여 많은 생산 현장에서는 가공의 경제성뿐 아니라 안전성을 고려한 생산기술에 대한 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 밀링 절삭가공 공정을 대상으로 작업자의 안전과 환경 문제를 고려한 최적 절삭조건을 결정하기 위하여 경험 지향적(Experience-oriented)인 방법을 적용하여 작업설계시스템을 개발하였다. 작업자의 가공 노하우(Knowhow)나 지식을 규칙(Rule)과 신경회로망 모델을 이용하여 모델링하는 동시에 작업의 변경이나 공구 등의 부재 시 발생하는 잘못된 정보의 제공을 방지하기 위한 에이전트를 시스템에 적용하였다. 또한 작업자 안전성을 고려하기 위하여 수정된 절삭조건에 대하여 기계 부하 등을 고려한 필터링 규칙을 수립, 적용하였다.

본 연구를 통하여 제안된 시스템은 실제 산업현장에 적용하기 위하여 개발되었으며 현재 2개의 공작기계 제조사의 공정설계팀에 설치하여 시험운영중에 있다. 개발된 시스템은 과거 공정계획 전문가의 경험과 노하우, 그리고 공구 제조사의 카탈로그 등에만 의존하던 작업설계를 보다 합리적이고 분석이 용이하도록 작업자의 의사결정에 도움을 줄 수 있다고 생각되며 또한 공정계획 전문가가 부족한 현실에서 초급 작업자의 교육이나 업무 지원에도 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

향후, 시험 운영을 통해 발견되는 문제점을 보완하는 한편, 업체별로 특화된 가공 노하우나 가공 방법 등을 자체적으로 반영할 수 있는 기능 등을 추가로 개발하여야 한다고 생각된다.

## 참고문헌

- 1) S. Nadkarni, "Health and safety requirements in electric arc welding and cutting", *Chemical engineering world*, Vol. 21, No. 8, pp. 77~78, 1986.
- 2) Y. Samant, et al., "Profile of machine safety in small metal fabrication businesses", *American journal of industrial medicine*, Vol. 49, No. 5, pp. 352~359, 2006.
- 3) H. Zang, L. A. Alting, "Introduction to an Intelligent Process Planning System for Rotational Parts", *Advances in Manufacturing System Engineering, ASME*, Vol. 31, pp. 15~26, 1988.
- 4) B. T. Park, M. W. Park, S. K. Kim, "Generation and Evolutionary Learning of Cutting Conditions for Milling Operations", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 17, No. 12, pp. 870~880, 2001.
- 5) 박병태, "밀링작업에서 가공 안전성을 고려한 가공조건 결정", *한국안전학회지*, 제21권, 제6호, pp. 116~121, 2006.
- 6) H. B. Marri, A. Gunasekaran, R. J. Grieve, "Computer-Aided Process Planning: A State of Art", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 14, No. 4, pp. 261~268, 1998.
- 7) W. Zhiyong, "Selection of Tool and Cutting Parameter in Heavy Lathe Machining", *Tool Engineering*, Vol. 37, No. 10, pp. 39~47, 2003.
- 8) M. Nalbant, H. Gokkaya, G. Sur, "Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Turning", *Materials & Design*, Vol. 28, No. 4, pp. 1379~1385, 2007.
- 9) R. Q. Sardinas, M. R. Santana, E. A. Brindis, "Genetic Algorithm-Based Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters in Turning Processes", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 19, No. 2, pp. 127~133, 2006.
- 10) M. Srinivasan and P. Sheng, "Feature based process planning in environmentally conscious machining - Part 1: macroplanning", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 15, pp. 271~281, 1999.
- 11) F. M. Van Houten, A. H. Vant Erve, "PART: A CAPP System with a Flexible Architecture", *Proceedings of CIRP International Work Shop on CAPP*, pp. 57~69, 1989.
- 12) Machinability Data Center, *Machining Data Handbook*, Metcut Research Associates Inc., 1986.