IE Interfaces
Vol. 21, No. 4, pp. 411-417, December 2008.

임펠러 5축 NC가공을 위한 가공전략수립 지원시스템

조민호† · 김동원 · 허은영 · 이찬기

전북대학교 산업정보시스템공학과

A 5-Axis NC Machining Strategy Support System for an Impeller

Min-Ho Cho · Dong-Won Kim · Eun-Young Heo · Chan-Gi Lee

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756

An impeller is a type of high-speed rotor that is used to compress or transfer fluid under high-speed and pressure at high temperatures. The impeller is composed of an axial hub and several blades attached along the hub. The weight and shape of an impeller must be balanced, because their imbalances can cause noise and vibration, which can lead to the breakage of the impeller blades during operation. Thus, the hub and blades of an impeller are commonly machined in a 5-axis NC machine to obtain qualified surfaces. The impeller machining strategy or process plan can not be easily obtained due to the complex, overlapped and twisted shapes of impeller blades. Skillful machining process planners may generate appropriate machining strategies based on their experiences and floor data. However, in practice most shop floor data for the impeller machining is not well-structured such that it does not effectively provide a process planner with information for machining strategies and/or process plans. This paper reports the development of a case-based machining strategy support system (CBMS) that employs case-based reasoning to obtain the machining strategy of an impeller by using the existing machining strategies of the shop floor. The CBMS generates impeller machining strategies through a stepwise reasoning process considering the similarity features between the blade shapes and machining regions. A case study is provided to demonstrate that CBMS can generate useful machining strategies facilitating process planners. The developed system can simulate the tool paths of impeller machining and runs on the web.

Keyword: Impeller, 5-Axis NC Machining, Knowledge bases, Case-based Reasoning, Similarity Features

1. 서 론

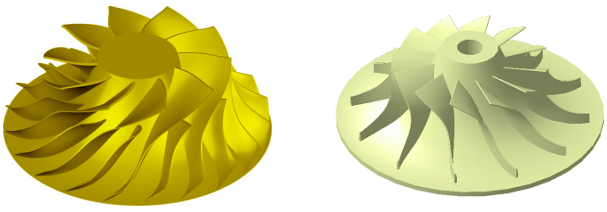
에너지 사용의 효율을 향상시키기 위해 개발된 터보기기는 자동차, 항공기 선박 등 고유의 기계 분야에 널리 활용되고 있을 뿐 아니라 제트엔진이나 발사체 등의 방산분야의 핵심부품으로 이용되고 있다. 따라서 고성능 · 고효율의 터보기기를 위한 연구와 노력이 활발히 이루어지고 있고 그 사용도와 필요성도 크게 증가하고 있다.

터보기기의 대표적인 부품인 임펠러는 고속회전체로서 유체를 압축시키거나 이송시키는 기능으로 사용되는데 <그림 1>과 같이 스플리터(Splitter) 타입과 넌 스플리트(Non-Splitter) 타입으로 나눌 수 있으며, 보통 고속, 고압에서 운전되고 경우에 따라 고온에서도 사용된다.

임펠러는 밸런싱이 매우 중요한 부품으로 밸런싱이 정확하지 않으면 소음 및 진동을 유발하여 파손의 주된 원인이 될 수 있다. 따라서 밸런싱을 정확하게 하기위하여 몸체와

†연락저자 : 조민호 박사, 561-756 전라북도 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 063-270-2333, E-mail : cmh@chonbuk.ac.kr
투고일(2008년 07월 31일), 심사일(1차 : 2008년 08월 16일, 2차 : 2008년 09월 02일), 게재확정일(2008년 10월 07일).

블레이드가 일체형이 되도록 일괄가공하고 있다(Jang *et al.*, 2004). 따라서 임펠러는 반드시 5축 가공을 하여야 하는데 일반적으로 임펠러 5축 가공은 사용될 기계의 5축 구성 특징에 따라 다른 기하학적 알고리즘을 적용해야 하기 때문에 NC-code 작성이 어렵다. 하나의 임펠러 가공을 위해서는 과거의 자료가 있을 경우 공정계획 수립에 약 8시간 이상의 셋업시간을 소요하게 된다. 즉 가공준비시간을 효과적으로 줄이기 위해서는 임펠러의 가공에 관한 많은 경험과 실험 데이터를 뒷받침 할 수 있는 의사결정지원 시스템의 개발이 필수적이다.



(a) Splitter type (b) Non-Splitter type

그림 1. 임펠러의 종류

본 연구에서는 임펠러의 효율적인 공정계획을 위해 과거 데이터를 DB화하고 임펠러의 특징형상을 특성값으로 추출 저장하여 사례기반추론(Case-based Reasoning)과정을 통해 검색 시 보다 정확한 형상 및 공정 검색이 가능하도록 지원할 수 있는 시스템을 구축 하였다.

2. 관련연구

2.1 임펠러 가공전략

일반적인 임펠러 5축 가공 단계는 황삭 가공, 선단 가공, 블레이드 가공, 허브면 가공 및 잔삭으로 구성되어지며 각 단계에 적절한 가공조건 및 공구의 선정 등과 같은 가공전략의 수립이 매우 중요하다. 대부분의 가공시간은 불필요한 소재의 빠른 제거를 목적으로 하는 황삭 단계에서 소요되며 생산성 향상을 위해서는 황삭 단계의 가공시간 단축이 필수적이다. 임펠러 황삭 가공은 블레이드의 개수 및 특성에 따라서 다수 개의 단위가공영역(UMR : unit machining region)으로 분할하여 가공하며 각 가공영역에 따른 적절한 절삭조건 및 공구선정을 하게 된다. 여기서 효과적인 공구선정 및 가공영역분할은 생산성과 직결된다 할 수 있다.

임펠러 가공전략 수립을 위한 연구로는 크게 공구축벡터 선정과 영역분할 및 황삭가공에 대한 연구로 나눌 수 있다. 먼저 공구축 벡터 선정에 관한 연구를 보면 공구축 벡터를 블레이드의 룰링라인과 평행하게 하고 수정 Z-map을 이용하여 공구와 임펠러 몸체와 간섭을 제거하여 공구중심을 설정하는 방법이 연구되었다(Cho *et al.*, 1997). 다른 연구로 공구축 방향벡터(cutter axis direction vector)는 블레이드 곡면에 대한 법선 방향으로 공구의 반지름만큼 옵셋(offset)시켜 지정하는 방식을 사용하고 공구경로상의 공구축 방향벡터는 양 블레이드의 공구축 방향벡터를 선형화하여 결정하는 연구가 제안되었다(Cho *et al.*, 2004). 그러나 정삭가공에서 파단이 일어나기 쉬운 리딩에지(leading edge)에 대한 가공경로 생성에 대해 언급하지 않았다. 또한, 허브곡면과의 간섭은 거리검사를 활용하여 제거하였으나 가공경로 간 공구축 방향벡터를 양 블레이드의 방향벡터 사이에 놓는 방식만을 고려함으로써 가공 중 블레이드면 과의 간섭을 완전히 고려하지 않았다.

가공영역의 분할 및 황삭에 관련된 연구를 살펴보면 Morishige and Takeuchi(1997)는 제안된 가공 전략에 의해 3차원 기하학적 모델의 기저면상에 간섭이 없는 황삭가공에 대해 소개하였다. 두 개의 파라미터로 정의되는 2차원 C-space가 모든 공구위치에서의 간섭의 유무를 검출하기 위하여 채택되었으며 가공될 곡면상의 임의의 점에서의 최적의 공구위치를 결정하였다.

2.2 사례기반추론

사례기반추론은 인간의 문제 해결 방식과 매우 유사한 특징을 가지고 있다. 사례기반추론의 일반적인 프로세스는 우선 새로운 문제 해결을 위해 사례 베이스로부터 유사사례를 도출하고 이렇게 도출된 해를 새로운 문제 해결에 맞도록 사례를 변형한다. 마지막으로 새롭게 도출된 해를 검증한 후 새로운 사례를 다시 DB에 저장하는 프로세스를 갖는다(Aamodt and Plaza, 1994). 사례기반추론기법은 일반적으로 경영학의 예측 및 추천 연구 분야에서 많이 이용되고 있다. 그 이유는 사례기반추론이 다른 인공지능 기법과는 달리 일반 지식이 아닌 특정 상황에 관련된 경험적 지식을 이용하므로 대규모 사례 및 소규모 사례에서도 탁월한 성과를 보여주는 추론 기법이기 때문이다. 예를 들면, 사례기반추론은 주가 예측, 기업파산 예측, 정보시스템 회계감사, 소프트웨어 감사, 최적 상품 선택, 상품 추천, ERP 시스템 도입 계획 통제, 소프트웨어 품질 통제 등에 적용되고 있다.

사례기반추론을 이용한 공학분야의 연구로 경험에 입각한 체계적인 장비 선정 과정 구현을 위하여 사례기반추론 방법을 이용한 Virkki-Hatakka *et al.*(1997)의 연구가 있었으며, 체계적인 생산계획을 수립을 위해 사례기반추론을 이용한 Schmidt(1998)의 연구가 있다. 또한 Haque *et al.*(2000)는 동시공학을 통한 상품 개발 과정에 있어 의사결정지원을 위한 사례기반추론 모델을 구현하였고, Kwon(2003)은 CBR을 이용해 ERP 시스템 사전계획 수립(Project Planning Support System : PPSS)을 지원해 주는 XML 기반 시스템을 구축하였다.

3. 임펠러 가공공정계획

3.1 임펠러 가공

임펠러 5축 가공은 원소재 및 최종형상 정보에 대한 사용자 입력으로부터 시작된다. 이렇게 입력된 자료를 바탕으로 세부상세설계가 이루어지는데 임펠러의 특성곡선인 허브곡선과 쉬라우드 곡선 그리고 경계데이터를 입력 받아 수행하게 된다.

먼저 데이터 입력은 일반적으로 세 가지 방식으로 주어지게 되는데, 첫 번째는 CAD 도면으로 직접 주어지는 경우이고 두 번째는 중립파일 포맷인 IGES 화일 형태로 주어지는 경우이다. 마지막은 특성곡선을 공력해석을 거친 점 데이터 형태로 주어지는 방식이 있다. 첫 번째와 두 번째 방식으로 주어진 경우에는 CAD 소프트웨어에서 직접 작업을 수행하거나 도면데이터에서 특성곡선의 점 데이터를 추출하여 곡선을 생성하는 방법을 사용한다. 세 번째 방식으로 주어지는 경우에는 주어진 점 데이터를 사용하여 곡선을 생성하고 커브피팅(curve fitting)을 수행하여 특성곡선을 얻게 된다. 이렇게 얻어진 데이터를 기반으로 공구경로를 생성하여 원자재의 선반가공과정을 거쳐 3축 가공을 통해 임펠러의 그립을 위한 그립 홀 가공이 이루어지게 된다. 그 후 실제 임펠러 형상 가공을 위한 5축 가공이 이루어지게 되는 것이다. 5축 가공을 통해 얻어진 최종 부품은 3차원 CMM측정을 통한 품질관리 과정을 거쳐 최종 제품을 출하하게 된다<그림 2>.

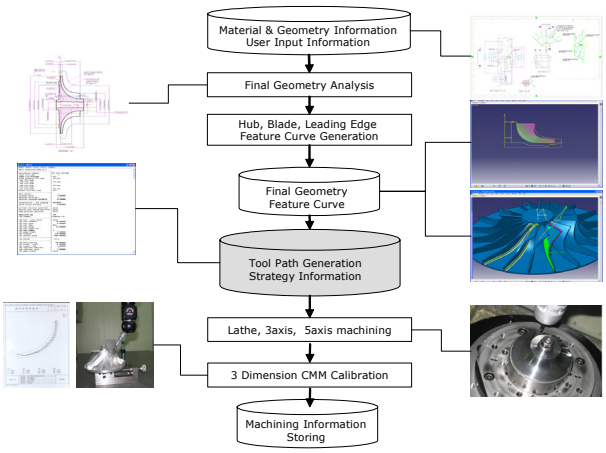


그림 2. 임펠러 가공 단계

3.2 임펠러 가공공정계획 수립

5축 가공이 필수적인 임펠러는 먼저 원소재를 선반을 이용하여 원추형으로 가공한 후 3축 및 5축 가공을 수행하게 된다. 3축 가공단계에서는 임펠러의 5축 가공을 위해 소재 하단에 가공물의 고정을 위한 홀을 가공하게 된다. 5축 가공단계에서는 우선 토출구 황삭과 흡입부 황삭가공을 하게 된다. 이후 정삭 단계에서는 리딩에지, 허브, 블레이드 정삭 및 스플리터 정삭을 수행하게 된다. 그리고 마지막으로 계산된 공구경로를 기계 유형에 맞게 NC 코드를 정정해 주는 후처리(Post-processing) 과정을 거치게 된다. <그림 3>은 임펠러 가공 시스템의 전반적인 공정순서를 보여주고 있다.

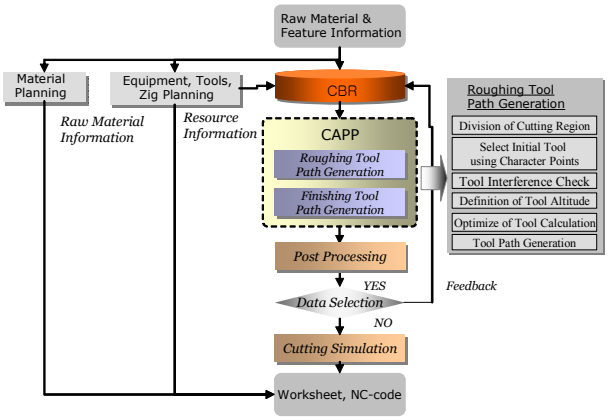


그림 3. 임펠러 가공공정계획(CAPP)

임펠러의 황삭가공을 수행하기 위한 가공 순서로는 영역의 분할, 초기공구 선택, 공구간섭 제거, 초기공구자세 정의, 최적공구 선정 순으로 진행한다. 그리고 황삭과 정삭가공 경로를 생성하고 후처리과정을 거쳐 마지막으로 공구경로를 검증한다.

4. 사례기반추론을 이용한 공정계획수립

4.1 가공전략수립을 위한 사례기반추론

본 연구에서는 가공전략 수립 지원을 위해 사례기반추론 기법을 활용한다. 이를 위해 우선 임펠러 특성곡선을 입력받아 임펠러 형상이 가진 특성치를 자동으로 계산하고 이 값에 사용자의 가중치를 곱하여 원하는 과거의 사례를 검색하게 된다<그림 4>.

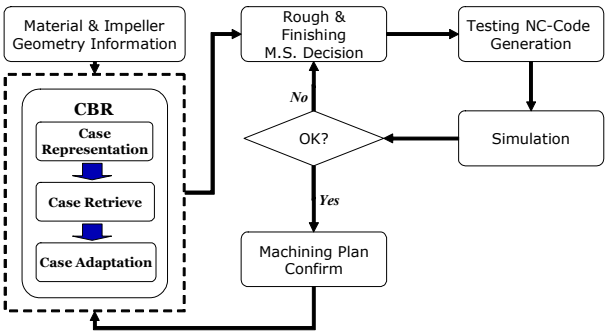


그림 4. CBR을 이용한 가공전략수립

사례기반추론을 위해 엔지니어는 임펠러의 블레이드 점 데이터, 바운더리 점 데이터, 리딩에지 점 데이터를 입력해야 하며, 스플리터가 존재하는 경우에는 추가로 스플리터 점 데이터와 스플리터 리딩에지 점 데이터를 시스템에 입력해야 한다. 이렇게 입력된 값은 미리 정의해 놓은 유사도 함수에 따라 거리가 자동 계산되며 유사도의 근사치가 높은 순으로 대안들이 생성되게 된다. 사용자는 생성된 값을 근거로 하여 새로운 대안을 생성하게 된다.

4.2 사례의 표현

사례기반 추론을 위해서는 우선 사례를 표현해야 한다. 즉 임펠러 형상에 대한 점 데이터가 주어졌을 때, 이것에 대한 가공공정계획이 제시되어야 한다. 여기서 임펠러 형상에 대한 데이터가 Problem으로 표현되며, 이 데이터에 대한 가공전략제시가 Solution이 되는 것이다. Problem 표현을 위하여 본 연구에서는 임펠러의 형상 특성치를 <그림 5>와 같이 정의하였다. 즉, 원소재 형상 특징으로 하단에 있는 장축 지름과 상단의 단축 지름을 특성치로 각각 사용하였으며, 소재의 높이와 트레일에지 및 리딩에지의 길이를 특성치로 사용하였다. 블레이드의 경우 블레이드의 상단 및 하단 간격을 특성치로 사용하였으며, 블레이드의 길이 및 블레이드 사이의 각도 등을 특성치로 사용하였다. 블레이드에 대한 유사도 특성치로 블레이드 체적을 활용하여 크기를 비교하였다.

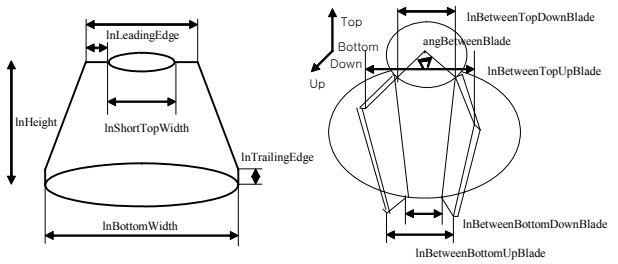


그림 5. 임펠러 형상 특성

반면 Solution으로는 임펠러 가공 단계별 즉 황삭, 블레이드 정삭가공, 리딩에지 가공 및 허브면 가공 등에 관한 가공전략 및 가공 단계에서 발생한 가공이력과 불량이력을 추가 솔루션으로 정의하였다. 여기서 황삭은 분할여부에 따라 한개 또는 복수개의 가공전략을 갖게 된다.

본 연구의 목표는 임펠러 설계정보(점 데이터)를 입력받아 임펠러 형상을 가공할 수 있는 가공전략 수립 후 최종 NC 코드를 생성하는 것이다. 여기서 CBR은 과거 유사 임펠러에 대한 검색을 통해 추출된 사례가 가지고 있는 가공전략을 공유하는 것으로, 주어진 정보 및 형상 관련 점 데이터의 파싱(Parsing)을 통해 <그림 6>과 같은 특성치를 추출해 낸다.

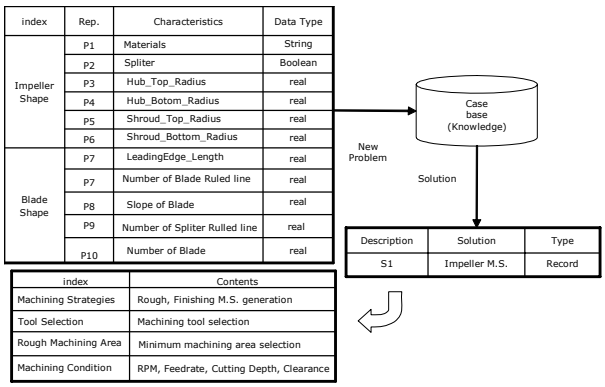


그림 6. 임펠러 특성치

4.3 사례검색

사례검색은 주어진 문제와 가장 유사한 사례를 베이스로부터 찾아내는 과정으로 타켓 사례에 대해 베이스에 저장된 사례를 하나씩 탐방하면서 각각의 특성치를 비교하고 특성치의 중요도에 따라 가중치를 고려하여 타켓 사례와 비교되는 문제와의 유사도로 정의할 수 있다. 제안된 시스템은 유사도 함수의 정의를 위하여 최근방 식별법(Nearest Neighbor)을 사용하였다. 최근방 식별법이란 사례별로 미리 저장해 놓은 특성치 값과의 거리를 계산하여 가장 가까운 특성치의 사례를 선택하는 방법으로 일반적으로 텍스트 마이닝이나 서치엔진, 군집분석, 클러스터링 등에서 많이 활용된다.

4.3.1 평가함수

본 연구에서는 유사도 정량화 함수 및 유사 사례 평가 함수를 아래와 같이 정의하였다.

Similarity Estimation

$$Max\{Ob_i\} = SI_{11}W_1 + SI_{12}W_2 \cdots SI_{ij}W_j$$
$$0 \le Ob_i \le 1,\ 1 \le i \le n, 1 \le j \le m$$

Similarity Index

$$SI_{ij} = \frac{a - E_{ij}}{a - b}, \quad 0 \le SI_{ij} \le 1, 1 \le i \le n, 1 \le j \le m$$

Weight Values

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i = 1, \ \ 1 \le i \le n$$

Notations

V_j^{NC} : j^{th} *shape feature value of a new case*

V_{ij}^{C} : j^{th} *shape feature value of the* i^{th} *case*

$E_{ij} = |V_j^{NC} - V_{ij}^{C}|$

$Max\{E_{ij}\} = a, \quad Min\{E_{ij}\} = b$

4.3.2 가중치

제안된 시스템은 검색의 성능향상 및 엔지니어의 검색의도를 반영하기 위하여 특성치의 상대적 중요도에 따라 적절한 가중치를 부여할 수 있도록 설계하였다. 기본 가중치는 시스템에 의해 자동적으로 주어지도록 하였으며 원소재의 종류 및 스플리트 유무와 같은 부울린 값으로 주어지는 특성치는 가중치를 부여하지 않았다.

5. 구현 사례

개발된 시스템은 윈도우 XP를 기반으로 운영되며, 웹 서버로 윈도우 XP를 지원하는 IIS 서버를 이용한다. 사용언어로는 웹 상에서의 그래픽 구현을 위하여 Visual Basic의 ActiveX 기술을 이용하였으며, 공구경로 생성을 위하여 C++를 사용하였다. 또한 웹 페이지의 작성 및 CGI 구동을 위하여 IIS를 지원하는 PHP 4.XX 버전을 이용하여 프로그래밍을 하였다. 그래픽 라이브러리로는 OpenGL 1.1을 이용하여 웹 상에서 임펠러 형상 및 공구경로 시뮬레이션을 구현하였으며, 데이터베이스로 MySQL 5.0 서버 버전을 이용하여 전체 시스템을 구현하였다.

본 연구에서 제안한 CBMS 시스템은 크게 세 가지의 메인 모듈로 나눌 수 있다. 첫째는 지식사례 구현을 위한 사례기반 데이터베이스구축으로 사례베이스 구축을 위하여 다음과 같은 데이터베이스를 통합하여 사례베이스를 구축하였다. 먼저 형상 정보 관리를 위한 형상 DB와 원소재 정보를 가지고 있는 원소재 DB를 가지고 있으며, 공구정보를 가지고 있는 공구 DB와 가공 전략을 저장하고 있는 가공전략 DB 그리고 가공이력과 불량이력 관리를 위한 DB로 구성되어 있다<그림 7>.

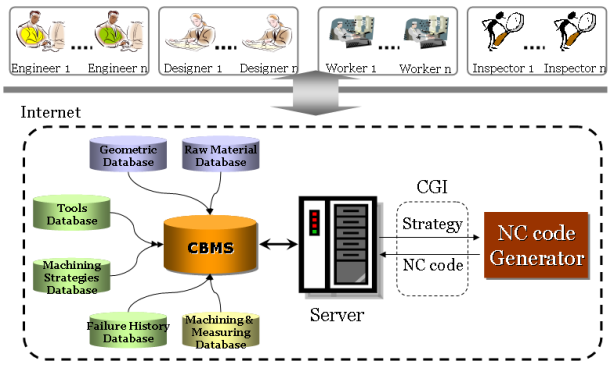


그림 7. 웹기반의 개발 시스템 환경

두 번째 모듈은 가공 전략에 따른 NC 코드생성을 위한 CGI모듈이다. 이 모듈은 엔지니어로부터 입력받은 가공 전략에 따라 서버 내부에서 CGI 프로세스를 거쳐 최종 결과물인 NC 코드를 생성해낸다. 마지막 모듈은 이렇게 생성된 NC 코드를 직접 임펠러 형상에 시뮬레이션해주는 그래픽 시뮬레이션 모듈이다.

본 연구에서 개발된 시스템을 이용한 임펠러 가공전략 수립 프로세스는 다음과 같다.

- *Step 1 설계데이터의 입력*

설계데이터의 입력은 임펠러 형상의 파일 명, 재질 및 스플리터 유무 등 사용자 입력을 받은 후 형상정보는 시스템에 의해 자동으로 파싱되어 데이터베이스화 된다. 또한 데이터 입력이 완료되면 시스템은 <그림 8>과 같이 입력 데이터의 검증을 위하여 임펠러 형상을 웹 상에 자동으로 생성해 준다.

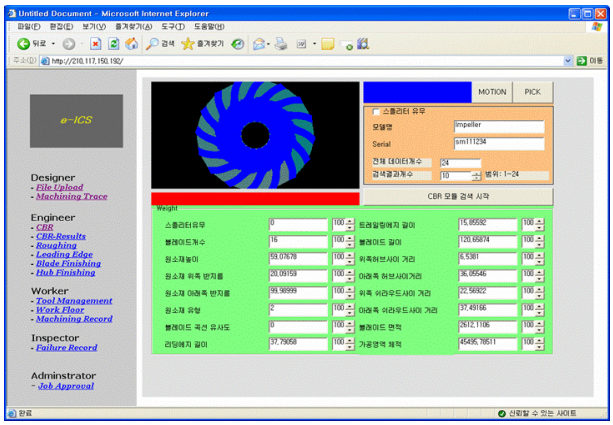


그림 8. 가중치 입력

- *Step 2 사례기반추론을 이용한 유사사례 검색*

임펠러 특성 곡선이 입력되면 시스템은 자동적으로 각 특성치 값을 계산하게 된다. 이때, 엔지니어는 각 특성치에 부여된 가중치 조정을 통하여 검색의 우선순위를 조절한다. 가중치는 0에서 100까지 부여할 수 있으며, 시스템은 기본 값으로 100을 제안한다.

- *Step 3 유사사례 선택*

검색이 끝나고 나면 검색결과 수를 선택한 만큼 시스템은 유사결과 값을 나열하게 된다. 이때 결과 값의 유사도는 검색 값 중 가장 먼 거리의 상대적 비율로 계산하여 %로 제시한다. 엔지니어는 개인적인 판단에 따라 결과 값을 선택 후 각 단계별 가공전략을 수립하게 된다.

- *Step 4 가공 단계별 가공전략 수립*

엔지니어는 선택된 가공전략을 기반으로 주어진 사례에 맞는 새로운 가공전략을 수립하게 된다. 이때, 각 구성원 간에 가공전략 및 과거 가공이력에 대한 분석을 간단한 메시지 전달기능을 통해 협의할 수도 있다. 또한 작업자와 품질검사자는 해당 임펠러를 가공하는 과정에서 생성되는 가공이력 및 품질검사 이력을 DB로 관리할 수 있을 뿐만 아니라 새로운 대안 생성 시에 엔지니어가 참고자료로 활용할 수

있게 된다<그림 9>.

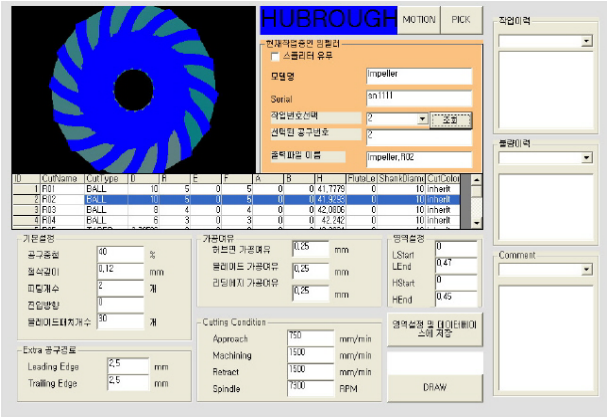


그림 9. 단계별 가공 전략 수립

• *Step 5 공구경로의 생성*

본 시스템은 유사도 평가에 의해 하나의 사례를 선택하게 되면 제시된 임펠러를 가공할 당시 선택되어졌던 가공영역분할 정보 및 Path Interval, 공구의 종류, 가공여유, Feed-rate, RPM 등과 같은 가공조건을 엔지니어에게 제안하게 된다. 엔지니어는 이 정보를 활용하여 가공 단계별로 새로운 가공전략을 수립하게 되며, 선택된 전략에 따라 NC 코드를 생성하게 된다. 이때, 황삭이 정삭에 비해 코드 생성시간이 5~6배 이상 시간이 소요된다.

• *Step 6 공구경로의 검증*

마지막 단계에서는 서버에서 생성된 공구경로는 Web Simulator를 이용하여 웹브라우저 상에서 검증하게 된다<그림 10>. 원하는 결과를 얻지 못했을 경우에는 Step 3단계로 되돌아가 다른 유사사례를 기반으로 새로운 가공전략을 수립하게 된다. <그림 11>은 CBMS 시스템에 의해 생성된 여러 점 데이터 중 5축 가공 시뮬레이터인 VERICUT을 사용하여 허브면 가공 데이터를 검증한 화면이다.

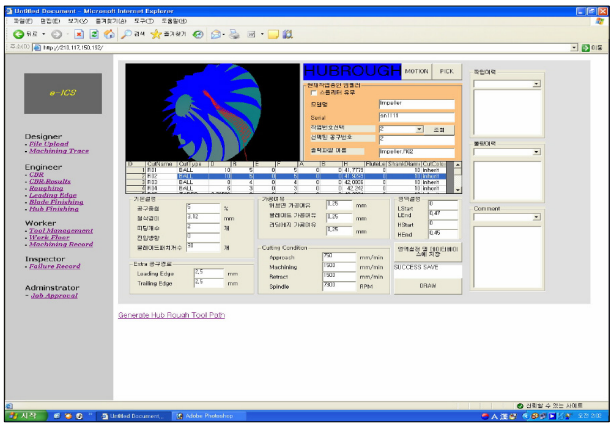


그림 10. 웹을 이용한 공구경로 검증

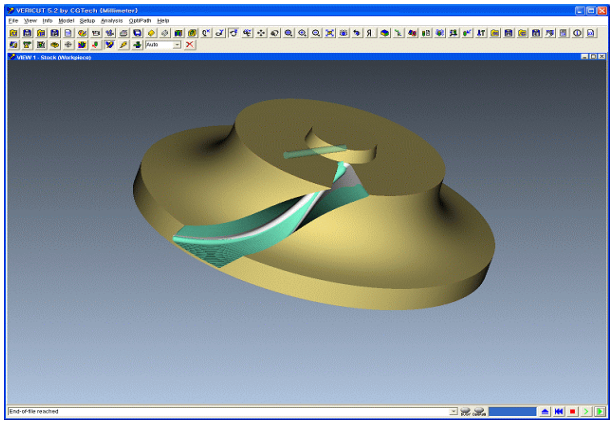


그림 11. VERICUT을 이용한 공구경로 검증

6. 결 론

본 연구에서는 효율적인 임펠러 5축 NC 가공을 위해 지리적으로 분산된 기업환경에서 전문 엔지니어가 보유하고 있는 다양한 가공전략을 공간과 시간에 제약 없이 공유하고, 가공 주체 간 협업을 통해 보다 짧은 시간에 양질의 가공전략을 수립할 수 있는 협업기반 의사결정지원 시스템 프레임웍을 제안하였다. 실 예로, 본 연구의 대상이 된 사례 기업의 경우 현장 생산 정보의 DB 구축 및 의사결정지원시스템의 활용으로 임펠러 형상정보의 입력으로부터 5축 NC가공을 위한 점 데이터 생성까지 소요되는 시간이 약 30%정도 감소하였다. 본 연구의 결과를 간략하게 정리하면,

첫째, 임펠러의 특성 및 임펠러 가공을 위한 특성곡선에 대하여 살펴보았으며, 임펠러 5축 NC 가공을 위한 기존의 공정분석을 통해 가공 공정상에서 협업이 가능한 새로운 협업기반의 공정계획 수립 프로세스를 새롭게 제안하였다. 또한 임펠러의 가공 및 특징형상 검색 측면에서 활용이 가능한 가공 단계별 MF(Machining Feature)를 템플릿 형태로 정의함으로써 일반적인 Boolean 비교나 형상특징에 의한 사례검색에 비해 보다 정확한 유사사례검색이 가능하며, 신속한 가공영역의 제거와 다음 공정에서의 일관적인 작업 로드의 할당이 가능하다는 이점을 갖게 하였다.

둘째, 변형적 대안 생성방법론인 사례기반추론을 이용하여 임펠러 5축 NC 가공을 위한 가공전략 수립을 지원하는 의사결정지원 시스템을 구축하였다. 사례기반 추론을 위한 사례의 구축을 위해 기업 내다양한 형태로 존재하는 생산관련 정보를 DB화하였으며, 임펠러 형상특징을 고려한 검색특성치를 설정하여 사례화 하였으며, 이를 기반으로 임펠러 가공 단계별 즉 황삭, 리딩에지, 블레이드 및 허브가공 단계별로 가공전략 제시가 가능하도록 시스템을 구축하였다.

참고문헌

Aamodt, A. and Plaza, E. (1994), Case-Based Reasoning : Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, *Artificial Intelligence Communications*, IOS Press, 7(1), 39-59.

Cho, H-D., Jung, D-I., Yoon, M-C., Choi, D-S., Shin, B-S., Lee, E-S., and Dong, Y-G. (2002), The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface II(A Study on the 5-axis Machining), *Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers*, 11(3), 1-7.

Cho, H-D., Park, J-B., Yoon, M-C., Hoi, D-S., Shin, B-S., and Lee, S-C. (1997), A Study on the 5-Axis CNC Machining of Impeller, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 6(4), 19-26.

Haque, B. U., Belecheanu, R. A., Barson, R. J., and Pawar, K. S. (2000), Toward The Application of Case-Based Reasoning to Decision Making in Concurrent Product Development (Concurrent Engineering), *Knowledge Based System*, 12(2-3), 101-112.

Jang, D-K., Shin, J-K., Lee, H-K., Ryo, S-H., and Yang, G-E. (2004), A Study on Tool Path Generation for Machining Impellers with 5-axis NC Machine, 3rd Asia-Pacific Forum on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, 253-261.

Kwon, S-B. and Shin, K-S. (2003), Case-Based Reasoning Support for ERP Pre-Planning, *Korean Intelligent Information Systems Society*, 9(2), 171-184.

Morishige, K. and Takeuchi, Y. (1997), 5-Axis Control Rough Cutting of an Impeller with Efficiency and Accuracy, *Proceedings of the 1997 IEEE International conference on Robotics and Automation*, 1241-1246.

Schmidt, G. (1998), Case-Based Reasoning for Production Scheduling, *International Journal of Production Economics*, 56(57), 537-546.

Virkki-Hatakka, T., Kraslawski, A., Koiranen, T., and Nystrom, L. (1997), Adaptation Phase in Case-Based Reasoning System for Process Equipment Selection, Computers and Chemical Engineering, 21(6), 643-648.

조 민 호
전북대학교 산업공학과 학사
전북대학교 산업공학과 석사
전북대학교 기계공학과 박사
현재: 전북대학교 재직
관심분야: STEP, PLM, Semantic Web
e-Manufacturing

김 동 원
서울대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
일본 북해도대학교 산업공학과 박사
현재: 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수
관심분야: 지능생산시스템, 제조정보시스템,
기술경영

허 은 영
전북대학교 산업공학과 학사
전북대학교 산업공학과 석사
전북대학교 산업공학과 박사
현재: Post Doc. Univ. of British Columbia
관심분야: CAPP, CAD/CAM, 유연생산시스템,
공장자동화, MES

이 찬 기
전북대학교 산업공학과 학사
전북대학교 산업공학과 석사
현재: 전북대학교 산업시스템공학과 박사과정
관심분야: 생산시스템 모델링 및 분석,
CAD/CAPP, PLM