

설계와 제조간 협업을 위한 제조견적서비스의 기능설계

주재구^{1*} · 정부환² · 고지훈¹

¹인제대학교 시스템경영공학과 / ²포항공과대학교 산업경영공학과

Functional Design of Manufacturing Quote Services for Collaboration between Designer and Manufacturer

Jaekoo Joo¹ · Buhwan Jeong² · Jee-Hoon Ko¹

¹Dept. of Systems Management Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

²Dept. of Industrial and Management Engineering, Pohang Univ. of Science, Pohang 790-784, Korea

The increasing dynamic and distributed nature of a business and manufacturing environment makes it hard to collaborate between design and manufacturing parties. The seamless collaboration necessitates a manufacturing quote service (MQS) that delivers manufacturing quotes timely for designer's requests. After envisioning a SOA-inherited collaboration framework, the paper details MQS' functionalities, and syntax and semantics of collaboration messages (i.e., RFQ and manufacturing quote). The MQS is implemented as a Web Service so as to be accessible by designers. For each RFQ, the MQS adaptively generates a responding manufacturing quote by using the DPM library and real-time shop status information. The paper also presents an evolution process that shows the whole process of RQF generation from given product design data. The proposed framework enabled partners to exchange engineering data rapidly and adaptively during the dynamic collaboration, and also increased the benefits of distributed and global production.

Keywords: Design and Manufacturing Collaboration, Service-Oriented Architecture, Manufacturing Quote Service

1. 서론

제조 산업은 경쟁의 광역화, 제품에 대한 고객요구의 다양화 및 복잡화, 제품 수명주기의 단축, 정보/인터넷 기술의 발전 등과 같은 새로운 기업환경의 변화에 직면하고 있다. 이에 대응하기 위해서, 기업들은 선택과 집중의 경영원리를 도입하여 설계, 제조, 또는 물류 등의 기업 핵심 역량을 집중, 특화시키고 있다. 그러므로 하나의 새로운 제품을 기획, 설계, 생산, 판매하기 위해서 여러 기업들의 이합집산이 필요하다. 특히, 실물을 다루는 생산의 경우 생산설비들이 전세계에 고루 분산되

어 있어 생산계획을 적절히 세우기가 매우 어렵다. 뿐만 아니라, 경영환경의 변화는 제조활동의 불확실성을 증대시켜 시장 수요예측 및 생산예측 등을 어렵게 한다. 제품의 설계에서 생산의 전 과정을 아우르는 설계 및 제조의 이음 없는 협업의 중요성이 날로 증가하고 있다.

설계와 제조 간의 전통 협업 방식에서는 후보제조자를 선정하고 제조견적을 산출하는데 인위적인 요소가 많이 존재한다. 대략적으로 전통 협업 방식은 1) 카탈로그 등의 인쇄물을 바탕으로 한 후보제조자의 물색, 2) 수작업을 통한 견적요청서 작성 및 fax, e-mail 등을 통한 견적서 요청, 3) 경험과 직관에 의

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: DS00230).

* 연락처: 주재구, 621-749 경남 김해시 어방동 607 인제대학교 시스템경영공학과, Tel : +82-55-320-3669, Fax : +82-55-320-3632,

E-mail : jjoo@inje.ac.kr

2007년 12월 접수; 2008년 02월 수정본 접수; 2008년 02월 게재 확정.

지한 제조견적서 작성, 및 4) 소수의 제조견적서 평가 및 협업 계약 체결의 순서를 따른다. 이런 협업과정은 제조설비들이 분산되고 수요예측 및 생산계획에 많은 불확실해지는 제조환경 하에서 몇 가지 문제점들을 내포한다. 첫째, 인적 네트워크와 지리적 한계를 벗어나지 못하는 설계와 제조 간의 제한된 협업 범위는 협업당사자들에게 기술적, 경제적인 기회손실을 가져온다. 둘째, 협업 과정에 필요한 정보들이 대부분 전화나 fax, e-mail 등과 같이 수작업으로 처리되기 때문에 협업 과정이 비효율적이다. 셋째, 설계, 납기일 혹은 제조자원 등 시장이나 작업장에서 발생하는 예상치 못한 변동사항에 적절히 대응할 수 없다. 넷째, 제조자는 작업장 상황에 대한 비합리적인 예측과 엔지니어링 경험에 근거하여 제조비용과 납기, 품질 등을 산출하기 때문에 작성된 견적서의 신뢰성 및 일관성이 부족하다. 이것은 협업파트너 사이의 상호 신뢰성과 효과적인 협업을 저해하는 주된 요인이 된다.

이를 극복하기 위해서 설계자는 협업파트너를 웹을 통하여 쉽게 찾을 수 있어야하며 필요한 협업 정보와 서비스가 웹을 통하여 정확하게 교환되고 공유되어야 한다. 뿐만 아니라, 의뢰된 제품에 대한 견적 산출이 시장과 작업장의 변동을 반영하여 수립된 표준공정계획에 근거하여 만들어져야한다. 본 논문의 목적은 설계와 제조 간의 협업에 관한 기존 연구들의 성과들을 바탕으로 설계-제조 간의 협업에 있어 핵심정보라 할 수 있는 견적요청서와 견적서의 생성과 교환을 자동화하는 방법론을 제시하는 것이다. 구체적으로는, 분산되고 급변하는 제조환경에서 설계와 제조 간의 협업을 위한 요구사항을 재정립하고 그것을 바탕으로 설계와 제조 간의 긴밀한 협업을 지원할 수 있는 새로운 설계-제조 간의 협업모델로서 웹서비스 기반의 제조견적산출시스템을 제안한다. 이를 위하여 서비스 지향모델을 확장한 설계-제조간 협업시스템의 전체 구조와 협업 과정에 따른 협업공정계획의 전개과정을 개괄한다. 이어서 웹서비스로 구현될 제조견적서비스의 세부기능구조를 정의하고, 서비스 수행에 필요한 입출력 데이터 구조와 그 이용방법을 기술한 서비스 명세 (service specification)를 정의하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 웹서비스 기반의 제조견적산출 방법론은 설계-제조간 협업의 핵심 부분인 견적요청서와 견적서의 이음 없는 교환뿐 아니라 제조 작업장의 현 상태를 반영하여 자동으로 견적을 산출해 함으로써 분산되고 가변적인 환경에서의 설계와 제조 간의 효율적인 협업을 위한 새로운 기회를 제공할 것이다.

2. 관련 연구

인터넷 기술은 분산 환경에서 기업의 응용시스템 통합과 이를

통한 협업 실현의 핵심 기술로서 발전되어왔다. 초장기의 웹 기반 협업시스템에 대한 연구로서 인터넷을 통한 설계와 가공 서비스 개발(Smith and Wright, 1996), 특징형상 기반 설계와 제조가능성 검토 연구 (Kim *et al.*, 1999), 그리고, STEP 프로토콜 (ISO 10303 Part 42, 49, and 224)을 이용한 협업파트너 통합에 대한 연구 (Sriram and Candadai, 1996) 등이 있었다.

ebXML (<http://www.ebxml.org>)과 Web Service (<http://www.w3.org/2002/ws>)와 같은 인터넷 상에서의 정보교환을 위한 프레임워크의 출현은 분산 환경에서의 기업 간 협업에 중요한 진전을 가져왔다. 특히, 이들 프레임워크를 설계, 공정계획, 공정해석 등 다양한 측면에서 제조엔지니어링 협업에 적용하는 연구들이 진행되고 있다. 예를 들면, Hao *et al.* (2003)은 웹서비스와 에이전트 기술을 이용하여 분산 제조관리를 위한 방법을 제안한 바 있다. 뿐만 아니라 표준 비즈니스프로세스 실행 언어 (BPEL) 기반의 협업적 엔지니어링 서비스 개발 (Lee *et al.*, 2006), SOA 기반의 지능형 장치 네트워킹 연구 (Jammes and Smit, 2005), 공장자동화와 제조지식의 공유를 위한 온톨로지 (Ontology) 사용 (Lastra and Delamer, 2006) 등의 연구에서 웹서비스가 핵심적인 기술로 적용되었다.

분산 환경에서의 설계와 제조간 협업을 지원하기 위한 방법론으로서 Kulvatunyou *et al.* (2004)은 통합제품공정데이터 (Integrated product and process data) 개념을 이용하여 공정계획과 해석 등의 엔지니어링 협업을 위한 통합구조를 제시한 바 있다. 또한 설계자와 제조자 사이의 거래를 위한 시맨틱 웹서비스 프레임워크를 제안하고 활동흐름과 정보흐름을 정의한 바 있다(Kulvatunyou *et al.*, 2005). 이들 연구와 관련하여서 Jang *et al.* (2005)은 제조서비스의 검색 능력을 확장하기 위하여 일반적인 웹서비스를 위한 표준 UDDI를 확장하고 제조능력프로파일을 OWL로 표현하였다. 또한 Woo *et al.* (2007)은 제조비용과 납기 측면에서 최적의 제조협업업체를 선정하기 위한 탐색 방법론을 제시하였다. 이들 연구의 공통점은 설계와 제조간 협업을 위한 중심정보를 설계도면이 아닌 공정계획정보로 대체시키고 인터넷 기술을 이용함으로써 설계와 제조 간의 협업 방법론의 변화를 가져왔다는 것이다. 그러나 이들 연구에서는 공통적으로 제조서비스의 등록과 검색의 자동화에 초점을 맞춘 반면에 견적서의 생성과 교환 등 협업의 가장 핵심적인 부분을 수작업으로 처리하게 함으로써, 설계자와 제조자 사이의 동적 협업 능력을 제한하고 있다. 따라서 경영환경의 변화에 따른 제조활동의 불확실성과 작업장의 변동성의 요인을 반영하여 견적요청서와 견적서의 이음 없는 교환을 가능하게 하는 새로운 제조견적 웹서비스 방법론의 개발이 절실히 필요하다.

3. 웹 서비스 기반 설계-제조간 협업 시스템

3.1 협업시스템의 구조 및 협업절차

웹서비스를 이용한 전자상거래 시나리오는 등록-발견-합의-실행과 같은 통합패턴을 주로 따른다. 이러한 통합시나리오는 서비스 지향 아키텍처 (Service Oriented Architecture; SOA) 라고 알려져 있으며 W3C Web Service, UN/CEFACT ebXML, DAML Service 등에서 공통적으로 사용됨으로써 개방형 전자상거래 시장에서 기업 간의 동적 통합 거래를 가능하게 해준다(Hao *et al.*, 2003). 본 논문에서는 분산되고 가변하는 제조환경에서 설계와 제조 간의 협업의 효율을 높이기 위하여 <Figure 1>과 같이 서비스 기반의 설계-제조 간 협업 프레임워크를 제안한다. 설계와 제조 간 협업은 생산, 운반 등과 같은 실물의 교환뿐 아니라 도면, 엔지니어링 요구사항, 견적서 등과 같은 정보의 교환을 통해 이루어진다. 이를 위하여 제조사는 자사의 상호, 위치, 연락처 등과 같은 일반 정보와 가공품의 종류, 공정, 품질 수준 등과 같은 제조능력 정보를 담고 있는 제조프로파일을 UDDI (Universal Description, Discovery, and Integration, <http://www.uddi.org>)나 ebReg/Rep (ebXML Registry and Repository, <http://www.oasis-open.org/committees/regrep>) 같은 공개등록기에 등록해준다. 그리고 제조건설서비스 (Manufacturing Quote service; MQS)를 구현하여 설계자가 관련된 제조자와 그 서비스를 찾고 호출할 수 있도록 이들 서비스에 대한 상세안도 공개등록기에 저장한다. 본 논문에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 설계자와 다수의 제조자 사이의 협업을

가정한다. 여기서 제조프로파일과 제조서비스를 등록하고 탐색할 수 있는 공개등록기는 이용가능하다고 가정한다(Jang *et al.*, 2005, Kulvatunyou *et al.*, 2003).

웹 서비스를 이용한 설계와 제조 간 협업 절차는 다음과 같다. 먼저, 제조자는 제조프로파일과 함께 서비스의 사용방법을 기술하는 서비스명세를 공개등록기에 등록한다. 이때 제조프로파일 정보는 RDF (Resource Description Framework, <http://www.w3.org/RDF>)나 OWL (Web Ontology Language, <http://www.w3.org/2004/OWL>) 등의 표준온톨로지언어로 표현되며 서비스 명세는 WSDL (Web Service Description Language, <http://www.w3.org/TR/wsdl>)로 표현된다. 한편 설계자는 협업을 준비하기 위하여 설계도면으로부터 제품 제조에 필요한 초기공정계획을 수립한다. 초기공정계획은 설계 데이터로부터 제품 제조에 필요한 작업 (Operation)들과 그 순서를 정의함으로써 수립된다. 따라서 초기공정계획에는 각 작업별 담당 제조자가 아직 정해지지 않은 상태이므로 제조자원이나 공정변수 등의 세부 공정 정보들은 포함되어 있지 않다. 제조프로파일을 등록하고 초기공정계획을 수립할 때 제조자와 설계자는 특정형상과 제조공정 등 제조와 관련된 공통의 용어를 정의하는 제조온톨로지(Manufacturing ontology)를 참조하여 의미의 혼란을 막을 수 있다. 이상의 준비가 완료되면 설계자는 공개등록기를 검색하여 각 작업별로 그것을 담당하기에 적합한 능력을 보유한 제조자를 찾을 수 있다. 이러한 검색 과정을 거쳐 초기공정계획에 정의된 모든 작업별 후보 제조자가 발견되면 설계자는 본격적인 협업을 준비한다. 이를 위하여 초기공정계획을

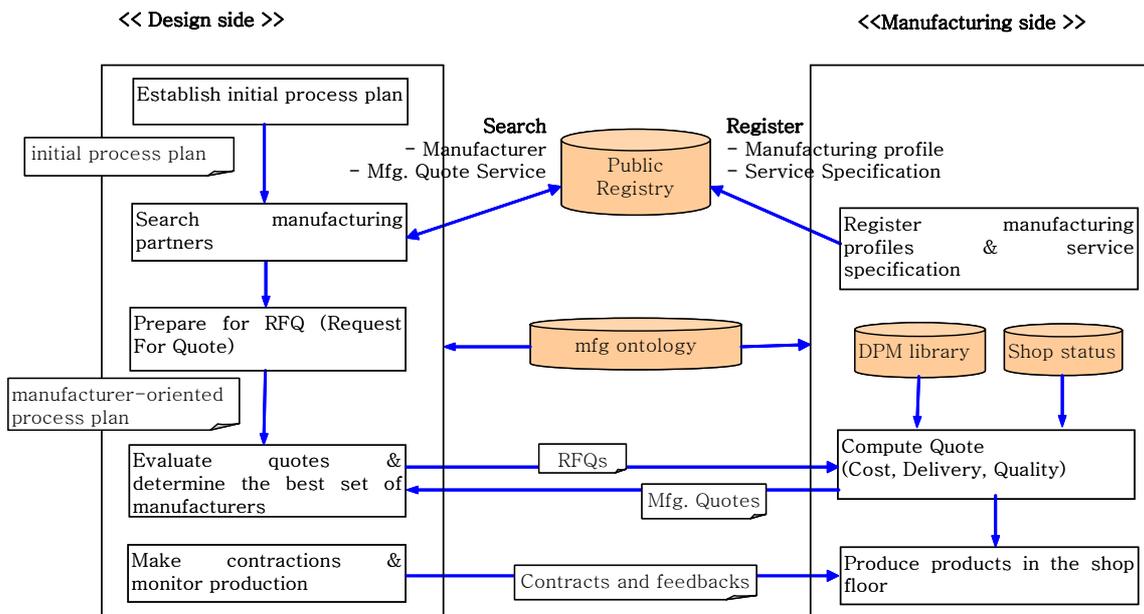


Figure 1. Web service-based framework for design and manufacturing collaboration

협업에 보다 효과적인 구조인 제조지향공정계획 (Manufacturer-Oriented Process Plan; MOPP)으로 확장시킨다. 이어서 제조지향공정계획의 각 작업별로 견적요청서 (RFQ)를 준비한 후 해당 제조자의 서비스명세서에 기술된 이용방법을 참고하여 제조견적서비스를 호출한다. 호출된 제조견적서비스는 설계자로부터 웹을 통해 전달받은 견적요청서의 정보를 바탕으로 미리 개발된 동적계획모델 (Dynamic Planning Model; DPM)을 이용하여 작업수행과 관련된 세부 공정계획을 수립하고, 이를 근거하여 제조비용, 납기, 그리고 품질 등의 정보를 포함하는 제조견적서 (Quote)를 실시간으로 산출하여 설계자에게 보낸다. 동적계획모델은 세부공정계획을 적응적이고 유연하게 수립할 수 있는 방법으로서 제 4.3절에서 자세히 설명한다. 이와 같은 과정을 거쳐 설계자는 각 작업별로 받은 견적금액과 납기를 검토하고, 업체 간 물류 이동 비용 등 기타 요인을 감안하여 제품제조를 위한 파트너들의 최적 조합을 구할 수 있다. 최종 선정된 제조자와 설계자 간에는 제조 실행을 위한 협업계약이 체결된다.

아래 <Figure 2>은 웹 서비스를 이용한 설계자와 제조자 간의 협업 절차를 도식화하여 설명한다. 만일 공개저장소 검색 결과 적합한 후보 제조자 발견이 불가능하다면 초기 공정계획을 수정해야 한다. 또한 후보 제조자가 견적서비스를 자동으로 생성시키지 못할 경우에는 다른 제조자를 물색하거나 설계사양을 변경시켜야 한다. 제조자의 경우 자사가 제공하는 웹 서비스를 등록하고 항상 서비스가능 상태로 유지한다고 가정한다.

3.2 초기공정계획의 생성

설계와 제조 사이의 협업 정보는 견적요청서와 제조견적서의 형태로 교환되지만 그 가운데 핵심은 공정계획이라 할 수 있다. 공정계획은 원재료를 완제품으로 변화시키는 데 필요한 제조 공정의 순서와 제조자원 (기계, 공구 등), 그리고 공정변수 등을 결정함으로써 제조비용과 품질을 좌우한다(Chang and Wysk, 1985). 설계와 제조 간의 협업을 위한 초기공정계획은 설계정보와 일반적인 공정지식을 바탕으로 제품 제조에 필요한 작업들과 그 순서를 정의함으로써 만들어지며, 특정한 제조자원의 사양에 상관없이 보편적으로 사용가능한 공정계획이기 때문에 자원독립공정계획(Resource Independent Process Plan; RIPP)이라고 명명된다(Kulvatunyou *et al.*, 2003). 소재제거가 공산업 (Material removal process industry)의 경우 초기 공정계획은 다음과 같은 3가지 단계를 거쳐 만들어진다.

- 1) 제조온톨로지를 참조하여 설계데이터로부터 제거특징형상과 제조공정을 추출한다. 제조온톨로지는 설계자와 제조자 사이에 공통의 용어와 지식을 사용함으로써 협업에 필요한 상호운용성과 무결성을 높일 수 있게 한다. 제거특징형상은 가공공정에 의해 제거되는 재료의 기본 형상으로 정의된다(Kramer, 1992).
- 2) 셋업이나 허용오차 등을 고려하여 제조공정들을 몇 개의 작업들로 묶는다. 이것은 동일한 제조설비를 이용하여 셋업을 바꾸지 않고 가공되는 것이 바람직한 제거특징형상

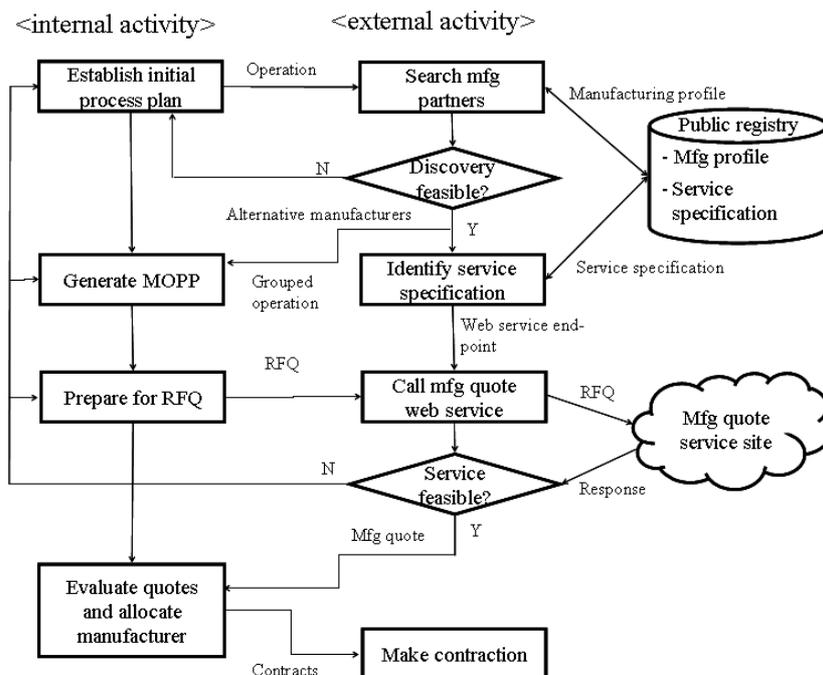
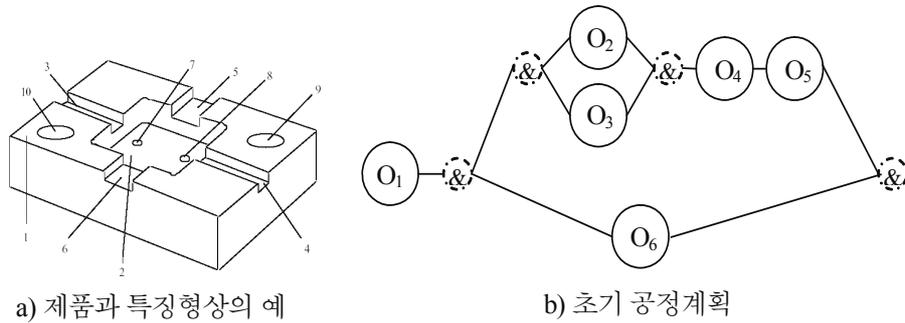


Figure 2. Collaboration Process using Web Service



작업		특징형상	
ID	Description	ID	Description
O1	FaceMaking	1	OpenPocketPlane
O2	Grooving	3, 4	GrooveRect × 2
O3	Grooving	5, 6	GrooveRect × 2
O4	FormMaching	2	ClosedPocketNoIslandPlane
O5	HoleMaking	7, 8	HoleBlind × 2
O6	HoleMaking	9, 10	HoleBlind × 2

c) 작업 vs. 특징형상

Figure 3. Exemplary product and its initial process plan(Woo et al., 2007)

들을 하나의 작업으로 묶어서 동일한 제조업체에서 가공될 수 있게 하기 위함이다. 따라서, 이들 작업묶음을 기본 단위로하여 제조사 선정이 이루어진다.

- 3) 구성된 작업들과 공정들의 제조 우선순위를 결정하여 초기공정계획을 수립한다.

초기공정계획은 AND-OR 그래프를 이용하여 표현된다. 따라서 초기공정계획은 작업수준에서 작업들의 우선순위를 표현한 작업수준그래프 (Operation level graph; OLG)와 제조공정의 수준에서 제조공정들의 우선순위를 표현한 공정수준그래프 (Process level graph; PLG)의 2-수준 그래프로 표현된다. 작업수준 그래프의 각 작업마디는 작업타입, 설비요구사항, 고정장치 요구사항 등의 정보를 담고 있고, 공정수준그래프의 각 공정마디에는 공정타입, 정밀도 등의 공정능력요구사항을 저장한다. 제안된 협업 및 공정계획의 진화과정을 설명하기 위해서 <Figure 3>와 같은 샘플 제품과 AND-OR 그래프 형태의 초기공정계획을 예로 사용한다.

3.3 제조지향공정계획의 생성

초기공정계획은 제품제조에 필요한 작업들과 제조공정들의 우선순위를 각각 정의하고 있지만 아직 설계자와 제조자간의 협업데이터로 사용할 수 없다. 왜냐하면 보다 효과적인 협업을 위해서는 초기공정계획의 구조를 변경하고 필요한 정보를 추가해야 하기 때문이다. 제조지향공정계획은 다음과 같은

단계를 따라 완성된다.

- 1) 초기공정계획의 각 작업별로 후보제조자를 찾아 작업마디에 배정한다. 각 작업마디에는 복수의 후보제조자가 배정될 수 있다. 물론 하나의 제조자가 복수의 작업마디에 할당 되는 것도 가능하다.
- 2) 별도로 마련된 여과규칙을 사용하여 작업별 후보제조자들 가운데 일부를 걸러낸다(<Figure 4-a> 참고). 이는 협업 파트너들의 조합 경우의 수를 최소로 줄여 탐색의 계산 복잡도를 줄이기 위함이다. 이를 위한 여과규칙으로서 고객의 품질 평가나 지리적, 정치적, 법률적 요인, 또는 지방 정부의 조례 등이 고려될 수 있다. 자세한 여과규칙들은 본 논문의 적용범위를 넘기 때문에 생략한다.
- 3) 복수의 후보제조자를 가지는 작업마디의 경우 하나의 작업마디에는 하나의 제조자만 배정되도록 OR마디를 이용하여 작업마디를 확장시킨다(<Figure 4-b>의 O1, O2, O4 참고). 예를 들면, n 개의 후보제조자를 가지는 작업마디의 경우 OR마디로 연결된 n 개의 개별 작업마디들을 가지는 부 그래프로 확장된다.
- 4) 작업우선순위 조건을 위배하지 않는 범위 내에서 동일한 제조자에 의해 제조 가능한 작업마디들을 묶어 그룹마디를 만든다(<Figure 4-c> 참고). 이것은 자재의 이동을 최소화하고 수송비용을 절감시키기 위함이다.
- 5) AND마디로 연결된 부 그래프들을 OR마디를 이용하여

직렬화하고 제조지향공정계획을 생성한다(<Figure 4-d> 참고). 따라서 제조지향공정계획그래프에는 작업마디, 그룹마디, OR마디만 존재한다.

- 6) 마지막으로, 제조지향공정계획을 나무형태의 그래프로 표현한다(<Figure 4-e> 참고). 이것은 제품 제조에 있어 대체경로가 얼마나 많이 존재하는지를 쉽게 파악하고 효율적으로 협업해 나가기 위함이다. 여기서 각 작업마디와 그룹마디에는 하나의 제조자가 배정되어 있으며 이들은 견적요청서와 견적서를 주고받는 기본단위가 된다.

위와 같은 6단계를 거쳐 나무형태의 최종적인 제조지향공정계획그래프가 완성되면, 설계자는 제조파트너의 최적 조합을 구하기 위하여 이 그래프의 대체경로별로 작업순서에 따라 작업마디 혹은 그룹마디별로 해당 제조자의 제조견적서비스를 호출한다.

4. 제조견적서비스

본 논문에서 제안하는 제조견적서비스는 특정 작업에 대하여 제조비용과 납기, 품질 등을 담은 제조견적서를 설계자의 직접적인 호출을 통해 자동으로 산출하여 제공하는 웹서비스이다. 따라서 제조견적서비스는 설계자와 제조자 사이에 견적요청서나 견적서와 같은 협업정보의 실시간 교환을 통하여 보다 빠르고 쉬운 협업을 가능하게 해 준다. 제조자에 의해 제공되는 제조견적서비스는 제조자의 특성을 반영하여 미리 구축되어야 한다.

4.1 제조견적서비스의 기능모델

제조견적서비스를 구현하기 위해서는 먼저 제조견적서비스의 활동을 정의하고 각 활동 사이에 흐르는 데이터의 상호

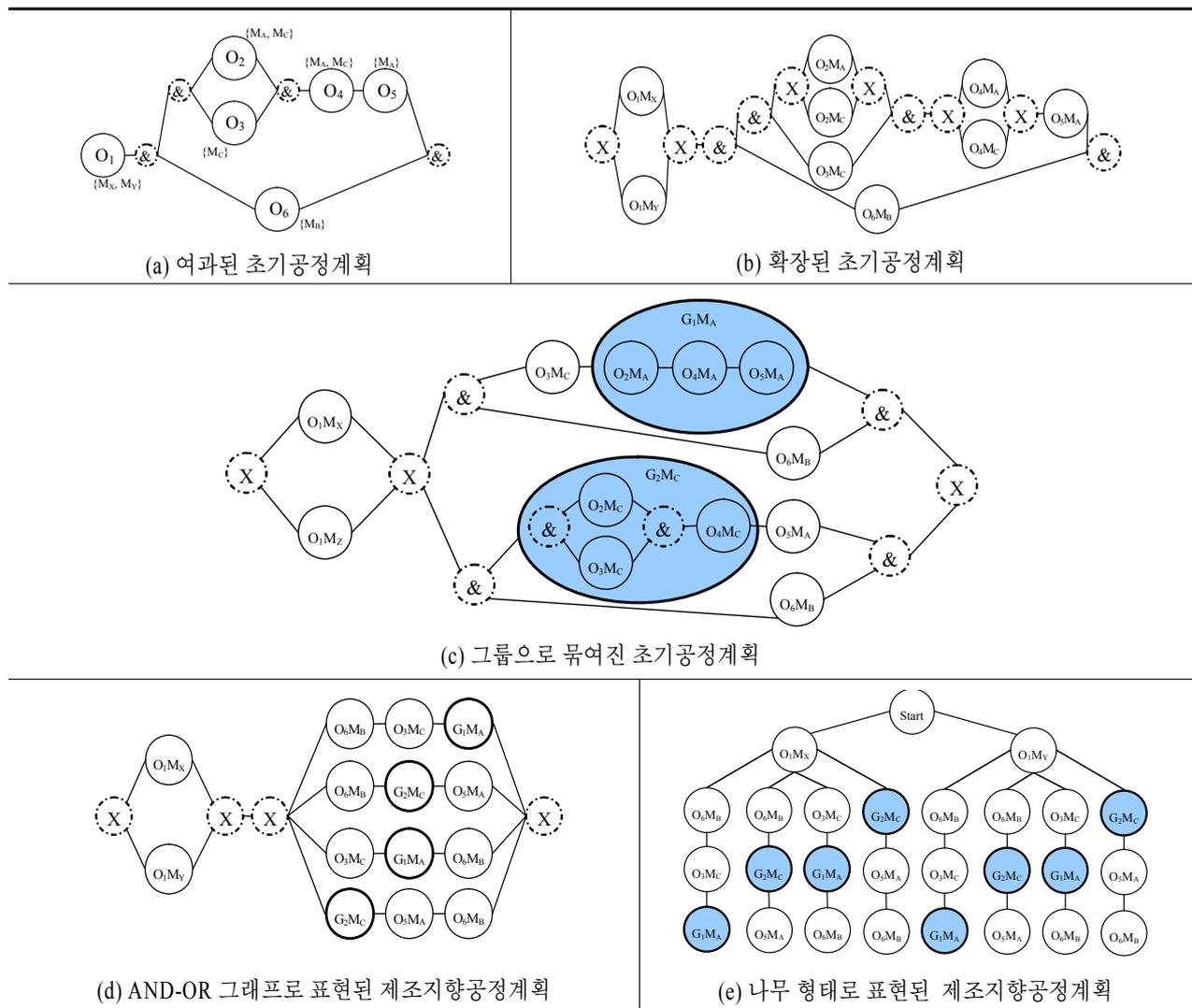


Figure 4. Interim graphs from initial process plan to manufacturer-oriented process plan

작용을 정의할 필요가 있다. 아래 <Figure 5>는 제조견적서비스의 최상위 활동 및 데이터 흐름을 IDEF0 기능모델로 표현한 것이다. 설계자에 의해 서비스 호출과 함께 보내어진 견적요청서가 도착하면 작업장통제시스템(Shop Floor Control System : SFCS)은 제조온톨로지, DPM 라이브러리 등의 컨트롤 정보를 반영하여 제조견적서를 산출한다.

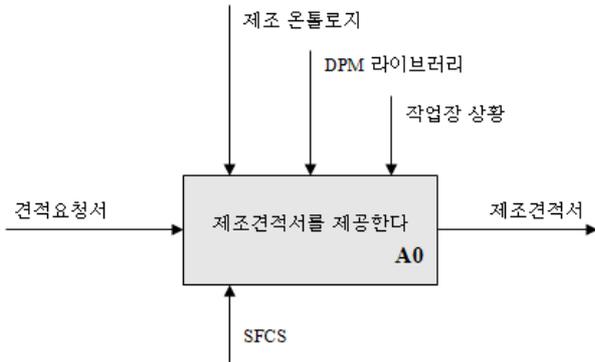


Figure 5. High level functional view of MQS(A0)

<Figure 5>의 제조견적서비스는 <Figure 6>에 나타낸 것처럼 3가지 하부활동들로 세분화된다. A1 : '작업 직렬화', A2 : '세부공정계획 수립', 및 A3 : '견적정보 산출'. 먼저 활동 A1은 설계자가 보내온 견적요청서에 포함된 작업정보를 바탕으로 제조가능성을 점검하고, 공정수준그래프를 직렬화하여 후보 공정경로를 만드는 것이다. 활동 A2는 활동 A1에서 생성된 후보 공정경로의 공정별로 공구, 고정구, 공정변수 등의 세부정

보를 추가함으로써 세부후보경로를 생성한다. 이때 DPM 라이브러리와 작업장상황 정보가 활동 A2의 컨트롤로서 작용한다. 이어서 활동 A3에서는 세부후보경로별로 모의실험을 통하여 제조비용 및 납기를 산출하고 제조견적을 만들어 설계자에 보낸다.

4.2 제조견적요청서와 견적서

설계자와 제조자 사이의 효과적인 협업을 위해서는 제조요구사항과 제조능력 같은 협업정보가 정확하게 표현되어야 한다. 협업정보들은 XML 등의 웹기반 언어를 이용하여 견적요청서와 견적서의 형태로 만들어져서 파트너에게 전달되어야 한다. 아래 <Figure 7>은 <Figure 5>에 나타난 제조견적서비스의 주요 입력정보와 출력정보인 견적요청서와 견적서의 주요 메시지 항목과 그 구조를 보여준다. 이들 메시지는 헤더(Header)와 바디(Payload)로 구성된다. 견적요청서와 견적서의 헤더 부분은 주로 송신자, 수신자, 메시지 ID, 참조 ID, 날짜 등과 같은 협업을 위한 메타데이터로 구성된다 (Woo et al., 2007). 반면에 바디부분은 협업정보 가운데 협업정보의 핵심인 엔지니어링 정보를 캡슐화한 것이다. 견적요청서의 경우 바디부분은 작업정보와 계승정보(Inherited data)로 구성되는데, 작업정보는 공정수준그래프, 제조요구사항(치수정밀도, 허용오차 등과 같은 품질정보), 시간적 제약조건(예: 희망납기일) 등의 정보를 의미하며, 계승정보는 투입 가공물의 예상 도착시간과 반제품의 형상(Geometric state of input part) 등과

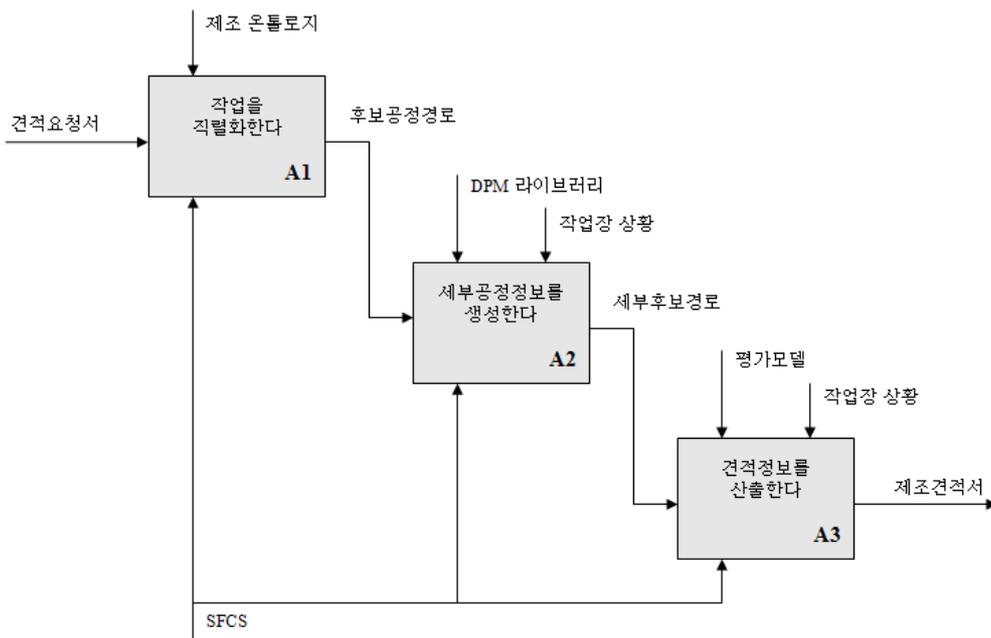


Figure 6. Detailed view of MQS functionality

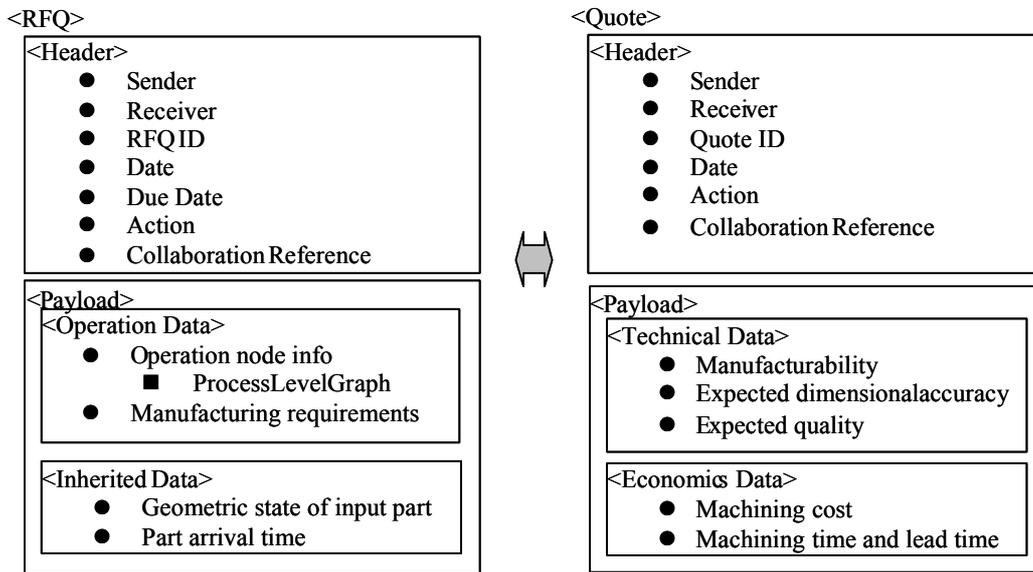


Figure 7. Extension to abstract data structures of RFQs and Quote messages(Woo *et al.*, 2007)

같이 작업순서를 고려할 때 이전 작업들을 모두 거쳐야만 결정될 수 있는 정보를 말한다. 본 논문에서 제안하는 제조견적서비스의 경우 설계자는 대체경로별 작업순서에 따라 웹을 통해 제조견적서비스를 직접 호출하여 받을 수 있기 때문에 계층 정보를 쉽게 얻을 수 있다. 견적서의 경우, 바디부분은 제품의 예상 치수정밀도 및 품질 등과 같은 기술정보 (Technical data)와 제조비용 및 납기 등의 경제정보 (Economic data)로 구성되며 웹서비스를 통해 자동으로 산출되어 설계자에게 전달된다.

4.3 동적계획모델(DPM) 라이브러리

설계자로부터 웹을 통해 서비스가 호출되면, 제조견적서비스는 가변적인 작업장 상황을 실시간으로 반영하여 특정 작업에 대한 제조비용과 납기, 품질 등의 제조 능력을 자동으로 산출할 수 있어야 한다. 이를 위해서 <Figure 6>에서 보인 바와 같이 동적계획모델(Dynamic Planning Model : DPM) 라이브러리가 사용된다. DPM은 오프라인에서 세부공정계획의 각 기

능별로 함수형태로 구축이 되며, 온라인에서 작업장 상황을 반영하여 실행됨으로서 해당 세부공정계획을 빠르고 유연하게 수립할 수 있다. DPM은 신경회로망의 방대한 지식 습득 능력과 빠른 계산 능력을 이용함으로써 구축할 수 있다(Joo *et al.*, 2002). 아래 <Figure 8>에는 DPM 라이브러리를 나타내었다. DPM은 그 생성방법에 따라 지식기반 모델 (K-DPM)과 논리기반 모델 (L-DPM)로 분류된다. K-DPM은 현장의 지식을 기반으로 전문가 시스템이나 신경망 등을 이용하여 만들어지며, 가공기계, 공구, 고정구, 공정변수 등과 같은 세부계획기능에 적합하다. 이에 반하여 L-DPM은 공구경로, NC코드 등과 같이 논리적인 절차나 알고리즘에 의해 해 (Solution)가 유도 될 수 있는 경우에 적합하다.

4.4 제조견적서비스의 세부기능모델

제 4.1장의 <Figure 6>에서 활동 A1 : ‘작업 직렬화’는 아래 <Figure 9>에 나타낸 바와 같이 2개의 하부활동들로 분해된다

방법론에 따른 구분		기능에 따른 구분		설명
동적계획모델 (DPM)	K-DPM	DPM-m	가공기계 선택	
		DPM-f	고정구 선택	
		DPM-c	공구 선택	
		DPM-p	공정변수 결정	
	L-DPM	DPM-n	NC 코드 생성	
		DPM-t	공구 경로 및 가공 시간 예측	

Figure 8. DPM library used for estimating manufacturing time

-A11 : ‘제조가능성 점검’, A12 : ‘OR마디 제거’. 활동 A11은 의뢰된 작업에 대한 제조자의 제조가능성을 검증하는 것이다. 검증 결과, 만일 제조자가 의뢰받은 작업 수행에 부적합하다는 판정이 나오면, 즉시 그 결과를 설계자에게 통보하고 서비스는 종료된다. 만일 적합판정이 나오면, 활동 A12에서 공정 수준그래프의 OR마디를 제거함으로써 후보공정경로를 만든다. 이를 위해서는 다양한 직렬화 알고리즘들이 사용된다 (Shin and Cho, 2001)(Lee *et al.*, 2001).

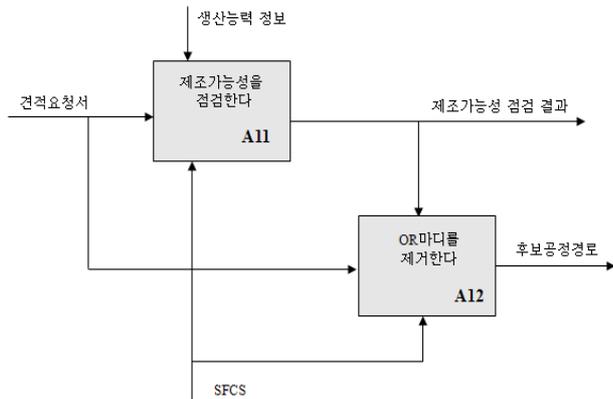


Figure 9. Decomposed model of ‘Serialize an operation(A1)’

<Figure 6>에서의 활동 A2 : ‘세부공정계획 수립’은 <Figure 10>에서 보는 바와 같이 4가지 하부활동으로 세분화된다 -A21 : ‘가공기계 선정’, A22 : ‘공구 및 고정구 선정’, A23 : ‘공정변수 선정’, 및 A24 : ‘공구경로 선정’. 활동 A21은 활동A1

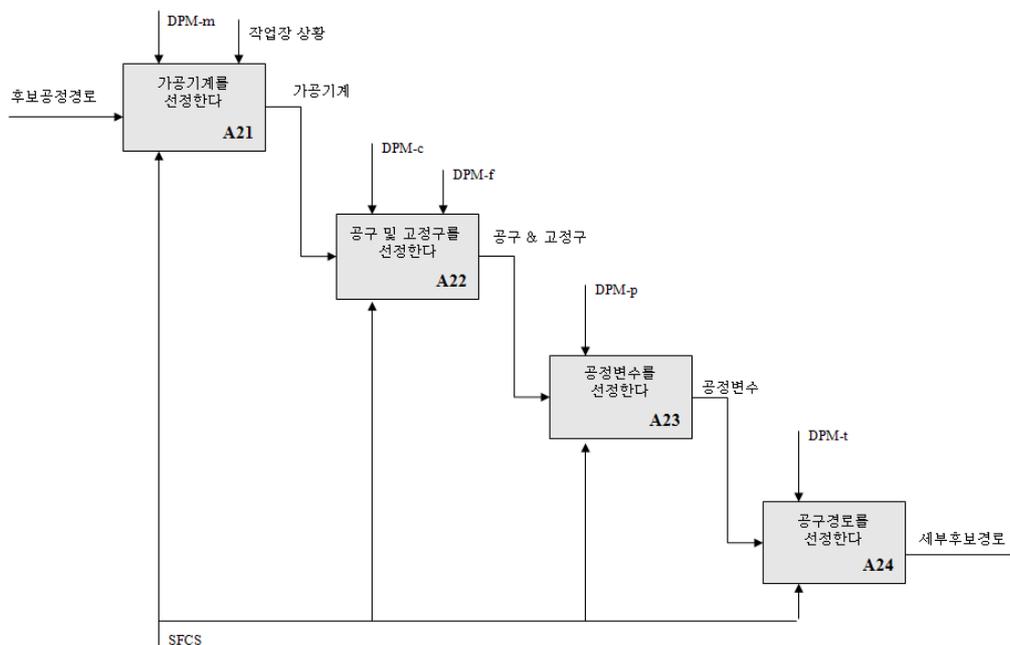


Figure 10. Decomposed model of ‘Augment an alternative path(A2)’

에서 생성된 후보공정경로상의 각 공정별로 그것을 담당할 최적의 가공기계를 선정하기 위한 것이다. 이를 위하여 작업장 통제시스템은 DPM 라이브러리로부터 DPM-m을 불러온 후 현재의 작업장 상황을 반영하여 실행시킴으로써 가공기계를 선정한다. 이후의 활동들인 A22, A23, A24는 각각 공구 및 고정구, 공정변수, 공구경로를 산출하는데 이용되는데, A21과 같은 방법으로 DPM 라이브러리로부터 각각 해당되는 동적계획모델을 불러서 실행시켜 결과 값을 산출한다. 각 활동의 산출물은 그 다음 활동의 DPM 입력변수로 이용된다. 이와 같이 생성된 공정별 세부공정계획 정보는 후보공정경로의 해당 공정마디에 추가되어 세부후보경로가 만들어진다.

<Figure 6>에서의 활동 A3은 <Figure 11>에서 보는 바와 같이 2개의 하부활동으로 세분화된다-A31 : ‘제조비용 및 납기 산출’과 A32 : ‘기술데이터 분석’. 활동 A31은 활동 A2에 의해 만들어진 세부후보경로에 저장된 세부공정계획을 이용하여 예상되는 제조비용과 납기 등의 경제정보를 산출한다. 이를 위하여 제조비용 및 납기를 시뮬레이션 할 수 있는 별도의 평가모델이 필요하다. 활동 A32는 치수정밀도, 기하공차 등을 보증하는 기술정보를 생성한다. 이와 같은 경제정보와 기술정보로부터 제조조건서가 만들어진다.

4.5 제조조건서서비스 명세

제조조건서서비스는 공개등록기에 등록되어서 설계자가 언제 어디서나 쉽게 접근할 수 있어야한다. 서비스명세서는 제조조건

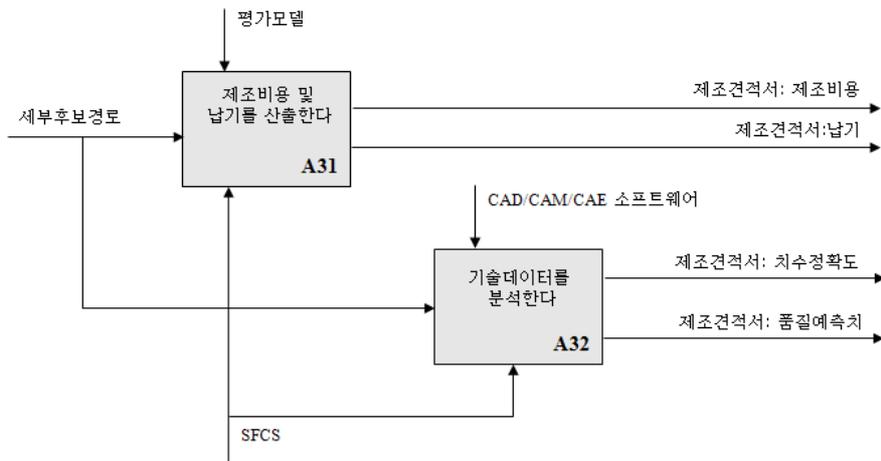


Figure 11. Decomposed model of 'Calculate quote information (A3)'

적서서비스가 어떤 기능을 제공하는 서비스이며, 어떻게 접근할 수 있는지(즉, 호출위치 (End-point), 입력메시지/출력메시지) 등의 설계자가 서비스를 이용하는데 있어 기본적으로 필요한 정보를 담고 있다. 설계자는 공개등록기로부터 다운받은 제조자의 서비스명세서를 이용하여 웹을 통해 서비스를 호출할 수 있다. 일반적으로 서비스명세서는 W3C에서 제정한 웹 서비스를 위한 서비스명세 규약인 WSDL로 만들어진다. <Figure 12>은 제조견적서서비스를 위한 WSDL 서비스명세의 주요항목과 구조를 UML 클래스 다이어그램을 이용하여 압축하여 나타내었다. WSDL 명세에는 포트/오퍼레이션(portType, port, service), 메시지 타입(types, message), 그리고 바인딩 (binding) 등이 포함된다.

제한한 설계-제조간 협업방법론에 의해서 초기공정계획이 협업과정동안 어떻게 진화하여 나가는지를 설명한다. 또한 제한한 협업방법론의 구현을 위하여 협업정보의 가장 핵심 부분인 견적요청서와 견적서를 XML기반의 웹문서로 구현하였으며, 제조견적서서비스의 서비스명세서를 WSDL 문서로 구현하였다.

5.1 협업공정계획의 진화

공정계획은 협업과정동안 그 구조와 내용면에서 몇 가지 단계를 거치면서 진화해 나간다. 아래 <Figure 13>에는 협업의 진행단계에 따라 협업공정계획그래프의 구조가 어떻게 진화되며, 또한 각 작업마디와 공정마디에 저장되는 정보가 어떻게 변경되어 저장되는지가 표로서 정리되어있다. 공정계획그래프의 구조 변경에 대해서는 제 3.2장에서 이미 설명하였기 때문에 본 장에서는 정보 내용의 변경에 대해 초점을 맞추어 설명한다. 초기공정계획의 작업마디에는 작업ID와 공정수준 그래프에 대한 포인터정보가 저장된다. 각 작업에 대응하는

5. 사례 연구

이번 장에서는 <Figure 2-(a)>에 제시된 샘플 파트를 대상으로

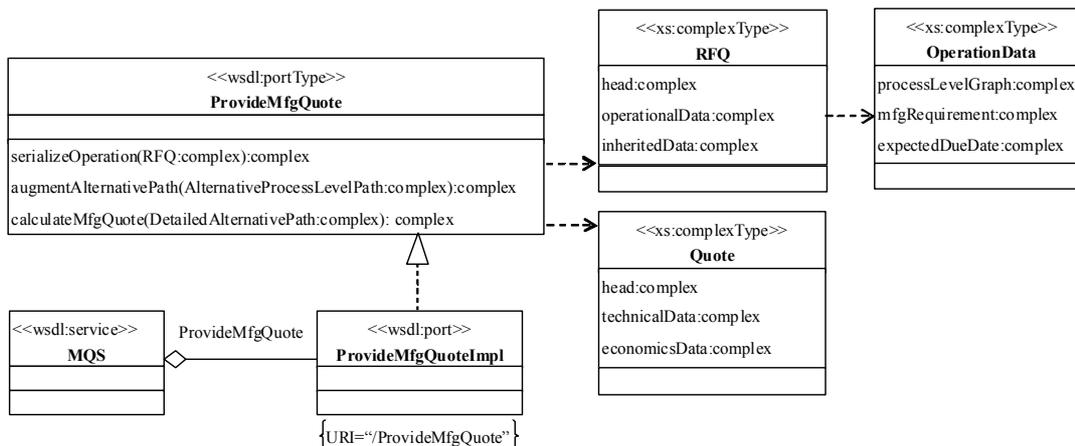


Figure 12. An abstract UML class diagram for specifying MQS in WSDL

협업단계		협업공정계획	정보내용	
			작업	공정
단계 1	초기공정계획		Operation id PLG	Process id Feature type Operation id Dimension Tolerance TAD
단계 2	제조지향공정계획		... Manufacturer Cost Time	... Machine Fixture ... NC code
	분산공정계획		...	
단계 3	제조실행공정계획		... e_Machine e_Fixture ... e_NC code	

Figure 13. Evolution of collaborative process plans and their information contents

공정수준그래프의 공정마디는 공정ID, 제거특징형상타입, 공정타입, 치수, 공차 등의 정적이고 제조자원과는 무관한 정보가 저장된다. 설계자는 공개등록기에서 후보 제조자를 찾은 후 각 작업마디별로 하나의 제조자가 맵핑될 수 있도록 초기 공정계획의 구조를 변경시켜 제조지향공정계획을 만든다. 제조건설서비스는 제조지향공정계획의 작업별로 설계자가 요청한 제조조건에 대해 세부공정계획을 수립하고 작업마디에 저장한다. 따라서 제조지향공정계획의 각 작업마디에는 제조자, 제조비용, 제조시간과 같은 비즈니스 정보가 저장되며, 공정마디에는 가공기계, 공구, 고정구, 공정변수, 공구경로 등과 같은 세부공정계획정보가 저장된다. 제조건설서비스를 통해 모든 후보제조자로부터 견적서를 받은 이후에 설계자는 수송비용과 제조비용을 고려하여 최적의 제조파트너를 선정하고 협업 계약을 체결한다. 이와 함께 제조파트너별로 담당할 작

업들을 모아 분산공정계획 (Distributed Process Plan)을 수립하여 제조자에게 보낸다. 그런데 분산공정계획상에 설정된 세부공정계획은 제조건설서비스 작성을 위한 시뮬레이션을 위해 설정된 값이기 때문에 제조자는 실질적인 작업장에서의 제조 실행을 위해서는 필요할 경우 세부공정계획을 수정해야할 경우도 있다. 이와 같이 제조실행 측면에서 수정된 공정계획은 제조실행공정계획(Manufacturer-Executable Process Plan; MEPP)이라 명명되며, DPM 라이브러리를 이용하여 제조 실행단계에서의 작업장 상황을 반영하여 실시간으로 수립되어 제조 작업 수행에 이용된다.

5.2 제조건설서비스의 WSDL 문서

다음 <Figure 14>은 <Figure 12>에 나타난 UML 클래스 다이

```

<definitions ... namespaces ... >

<!-- Input and Output Message Types: RFQ, Quote, and included types -->
<types>
  <complexType name = "RFQ">                                <!-- RFQ container -->
    ...
  </complexType>
  <complexType name = "Quote">                             <!-- Quote container -->
    ...
  </complexType>

<!-- Other sub-data types in RFQ and Quote, i.e., Header and Payload (operationData, inheritedData, technicalData, and economicsData) -->
  <complexType name = "Header"> ... </complexType>
  <complexType name = "OperationData"> ...
  ...
</types>

<!-- Messages -->
<message name = "serializeOperationRequest"> <part name = "RFQ" types = "xs:complex"/> </message>
<message name = "serializeOperationResponse"> <part name = "result" .../> </message>
<message name = "augmentAlternativePathRequest"> <part name = "AlternativeProcessLevelPath" .../> </message>
<message name = "augmentAlternativePathResponse"> <part name = "result" .../> </message>
<message name = "calculateMfgQuoteRequest"> <part name = "DetailedAlternativePath" .../> </message>
<message name = "calculateMfgQuoteResponse"> <part name = "result" .../> </message>

<!-- portType -->
<portType name = "ProvideMfgQuote">
  <operation name = "serializeOperation">
    <input message = "EMWS:serializeOperationRequest"/>
    <output message = "EMWS:serializeOperationResponse"/>
  </operation>
  <operation name = "augmentAlternativePPPath">
    <input message = "EMWS:augmentAlternativePathRequest"/>
    <output message = "EMWS:augmentAlternativePathResponse"/>
  </operation>
  <operation name = "calculateMfgQuote">
    <input message = "EMWS:calculateMfgQuoteRequest"/>
    <output message = "EMWS:calculateMfgQuoteResponse"/>
  </operation>
</portType>

<!-- binding -->
<binding name = ProvideMfgQuote type = "EMWS:ProvideMfgQuote">
  <soap:binding transport = "http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" style = "rpc" />
  <operation name = "serializeOperation">
    <input> <soap:body use = "encoded" encodingStyle = "..."/> </input>
    <output> <soap:body use = "encoded" encodingStyle = "..."/> </output>
  </operation>
  <!-- other operations -->
  <operation name = "augmentAlternativePath"> ... </operation>
  <operation name = "calculateMfgQuote"> ... </operation>
</binding>

<!-- service -->
<service name = "MQS">
  <port name = "ProvideMfgQuoteImpl binding = "EMWS:ProvideMfgQuote">
    <soap:address location = "http://emfg.inje.ac.kr/emfgwebservice/support"/>
  </port>
</service>
</definitions>

```

Figure 14. Part of WSDL description for advertising an MQS

어그랩으로 나타낸 제조견적서비스의 서비스명세서를 일반적인 XML 기반의 WSDL 문서로 구현한 것이다. <Figure 14>에서 보는 바와 같이 제조견적서비스의 WSDL 문서는 일반

적인 WSDL 문서의 형식과 같이 입력 메시지(Input Message)와 출력 메시지(Output Message), 포트타입(portType), 바인딩(binding), 그리고 서비스 호출 위치(end-point)를 정의하는 것으로

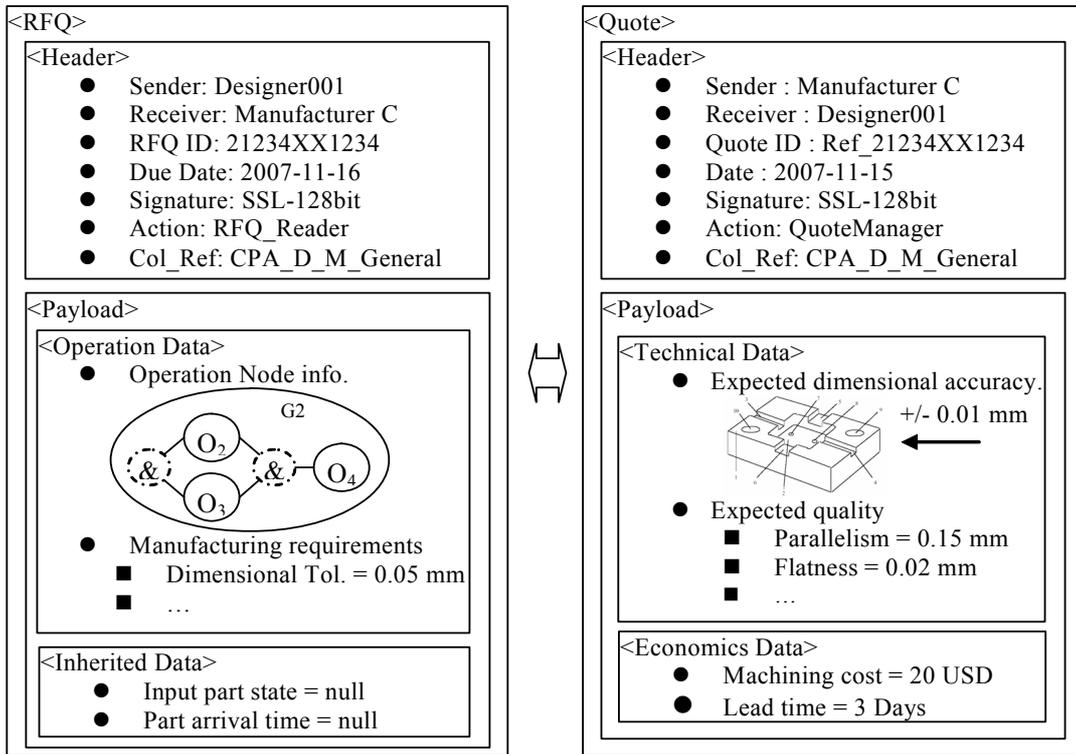


Figure 15. A sample RFQ and its replying quote

구성된다.

5.3 견적요청서와 견적서의 예제

<Figure 15>는 견적요청서와 그에 대응한 견적서의 예제를 보여준다. 제 4.2장에서 언급한 것처럼, 견적요청서의 헤더 부분은 송신자, 수신자, RFQ ID 등 협업에 관한 메타데이터를 담고 있으며, 바디부분은 견적 산출을 위해 필요한 작업정보를 담고 있다. 제조견적서도 동일하게 헤더와 바디부분으로 구성되며 각각 해당되는 정보가 저장된다. <Figure 16>은 그룹노드 #2에 대한 제조견적서를 호출하는 서블릿의 화면을 캡처한 것이며, 이를 통해서 <Figure 17>에서 기술된 것과 같이 제조견적요청서가 XML 형태로 SOAP 메시지 내에 포함되어서 제조견적서서비스로 전달된다.

본 논문의 목적이 설계와 제조 간의 협업을 위한 제조자의 제조견적서서비스의 상세기능을 설계하는 것이기 때문에, 별도의 제조자할당 알고리즘 등이 자세히 제시되지는 않았지만, 확장된 공정정보를 이용하여 후보제조자 탐색을 위해서 깊이 우선탐색방법을 이용하여 순차적으로 후보제조자의 웹서비스를 호출하였고, 응답받은 제조견적서들은 제품생산비용을 최소화하는 것을 목적으로 두고, 제조비용, 수송비용, 제조기간 등의 제약식으로 둔 최적화모형을 이용하여 후보제조자들을 선정, 할당하였다.

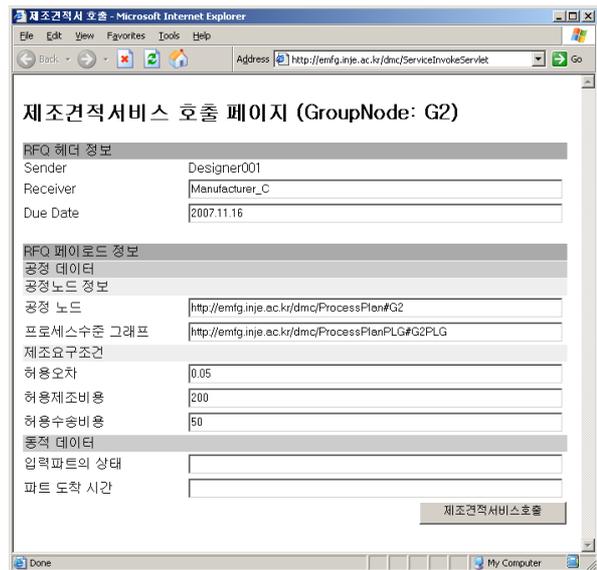


Figure 16. Screenshot to invoke MQS for group node G2

본 논문에서 제안하는 웹서비스 기술을 이용한 제조견적서 서비스는 전통 협업 방식에 비하여 몇 가지 뚜렷한 장점을 가지고 있다. 본 연구는 Woo *et al.* (2007)의 연구결과를 보완, 확장하였다. Woo *et al.* (2007)에서는 협업에 필요한 제조견적서작성, 제조견적요청, 제조견적산정, 제조견적평가, 제조자할당 등의 모든 과정이 수작업으로 이루어졌기 때문에 복잡한 공정정보를 바탕으로 다양한 제조가능성을 검토하지 못하고, 또

```

POST /InStock HTTP/1.1
Host: emfg.inje.ac.kr
Content-Type: application/soap+xml; charset = utf-8
Content-Length: nnn

<?xml version = "1.0"?>
<sopa:Envelop xmlns:soap = "http://www.w3.org/2003/05/soap-envelop"
Soap:encodingStyle = "http://www.w3.org/2001/12/soap-encoding">
<soap:Header> <!-- SOAP Header Information --> </soap:Header>

<soap:Body ... >
<dmc:RFQ xmlns:dmc = "http://emfg.inje.ac.kr/dmc">
<dmc:Header>
  <dmc:Sender>Designer001</dmc:Sender>
  <dmc:Receiver>Manufacturer C</dmc:Receiver>
  <dmc:RFQ_ID>21234XX1234</dmc:RFQ_ID>
  <dmc>Date>2007-11-12</dmc>Date>
  <dmc:DueDateForQuote>2007-11-16</dmc:DueDateForQuote>
  <dmc>Action>RFQ_Reader</dmc>Action>
  <dmc:CollaborationReference>CPA_D_M_General</dmc:CollaborationReference>
</dmc:Header>

<dmc:Payload>
<dmc:OperationData>
  <dmc:OperationNodeInfo>
    <dmc:ONode>http://emfg.inje.ac.kr/dmc/ProcessPlan#G2</dmc:ONode>
    <dmc:PLG>http://.../dmc/ProcessPlanPLG#G2PLG</dmc:PLG>
  </dmc:OperationNodeInfo>
  <dmc:ManufacturingRequirement>
    <dmc:DesiredTolerance unit = "mm">0.05</dmc:DesiredTolerance>
    ...
  </dmc:ManufacturingRequirement>
</dmc:OperationData>
<dmc:DynamicData>
  <dmc:GeometricStateOfInputPart>null</dmc:GeometricStateOfInputPart>
  <dmc:PartArriveTime>null</dmc:PartArriveTime>
</dmc:DynamicData>
</dmc:Payload>
</dmc:RFQ>
</soap:Body>

```

Figure 17. A sample RFQ instance document with SOAP binding

전 협업과정을 수행하는데 많은 시간과 노력이 요구된다. 그렇지만, 자동화된 제조견적서서비스와 제조자할당 알고리즘을 통해서 다양한 제조가능성을 동시에 검토하여 최적의 후보제조공정 및 제조자들을 선정할 수 있으며, 또 전 협업과정에 필요한 시간이 획기적으로 줄 수가 있다. 본 사례연구에서 견적요청서와 견적서의 교환에 필요한 협업시간이 전통 방식에서는 경우에 따라 수일/주가 소요되었으나 제안된 방법은 수분 내로 대폭 감소할 수 있다. 또한 DPM 라이브러리와 작업장 모니터링을 이용하여 제조견적의 생성을 체계화하여 제조파트너 조합 구성의 효과와 질을 크게 증대시킬 수 있다. 뿐만 아니라 제품 디자인과 그에 따른 공정계획의 복잡성으로 많은 수의 제조파트너가 관계될 수 밖에 없는 협업의 경우에는 수작업 방식으로 협업을 처리하는데 많은 어려움이 야기될 수 있다. 그러나 이러한 경우에도 제안된 방법론은 협업에 필요한 복잡한 과정들을 빠르고 쉽게 대응할 수 있다.

6. 결론 및 후속연구

제품의 기획에서 판매에 이르는 전 생산수명주기에서 부정확한 수요예측, 설계와 제조의 탈집중화, 제조 설비의 분산 등으로 생산계획은 더욱 어려워지고 있다. 이런 분산 및 부정확한 제조 환경에서 설계자와 생산자 사이의 더욱 긴밀한 협업이 요구된다. 본 연구에서는 우선 설계와 생산 사이의 협업 과정을 전자거래의 큰 흐름에 맞게 재정의하고, 전자 협업 과정의 핵심인 협업정보(견적요청서와 제조견적서)의 교환을 자동화하기 위해서 웹서비스 기반의 제조견적서서비스를 제안하였다. 본 연구에서 제안된 제조견적서서비스는 DPM 라이브러리와 실시간 작업장 모니터링 정보를 이용하여 요청된 견적요청서 및 생산계획에 맞는 제조견적을 자동 생성하는 웹서비스이다. 제안된 협업 프레임워크는 설계자들이 공개등록기를 통해서 자유롭게 제품의 설계에 맞는 후보제조자들을 검색할 수 있을

뿐만 아니라, 제조건설서비스를 호출함으로써 비용, 납기, 및 품질 등의 제조사의 제조 능력을 실시간으로 제공받아 제품제조를 위한 양질의 협업 파트너쉽을 구축할 수 있다. 이를 통해서, 분산 제조 환경에서의 시의적절한 협업을 가능케 함으로써 제조업의 분산화 및 글로벌화에 적절히 대처하고 이를 통한 장점을 더욱 증대시킬 수 있다. 본 연구에서는 일반 제조 현장에서의 공통의 설계-제조 협업을 모델링하였기 때문에, 특정 적용도메인에 특화된 제조건설서비스의 기능 추가 및 구현에는 초점을 맞추지 못하였다. 적용도메인에 특화된 건설서비스를 제공하기 위해서, 제조비용, 납기, 및 품질특성치를 평가를 위한 알고리즘을 조사하고 개발해 나가는 후속연구가 필요하다.

참고문헌

- ebXML : <http://www.ebxml.org>.
 ebXML registry : <http://www.oasis-open.org/committees/regrep>.
 UDDI registry : <http://www.uddi.org>.
 Web service : <http://www.w3.org/2002/ws>.
 RDF : <http://www.w3.org/RDF>.
 OWL : <http://www.w3.org/2004/OWL>.
 WSDL : <http://www.w3.org/TR/wsdl>.
 Hao, Q., Shen, W., and Wang, L. (2005), Toward a Cooperative Distributed Manufacturing Management Framework, *Computers in Industry*, **56**, 72-84.
 Jang, J., Jeong, B., Cho, H., and Lee, J. (2005), Capability and Extension of UDDI Framework for Semantic Enterprise Integration, In Proceedings of International Conference on Advances in Production Management Systems, Rockville, MD.
 Jammes, F. and Smit, H. (2005), Service-Oriented Paradigms in Industrial Automation, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **1**(1), 62-70.
 Joo, J., Park, S., and Cho, H. (2001), Adaptive and Dynamic Process Planning using Neural Networks, *International Journal of Production Research*, **39**, 2923-2946.
 Kim, W. and Chung, M. (2005), Collaboration in Design and Manufacturing Process using Web Services Semantics, In Proceedings of International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, Paris, France, 247-252.
 Kramer, T. R. (1992), A Library of Material Removal Shape Element Volumes (MRSEVs), Technical Report NISTIR 4809, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
 Kulvatunyou, B., Ivezic, N., Jones, A. T., and Wysk, R. A. (2003), Integrated Product and Process Data for Business to Business Collaboration, *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing*, Special Issue in New AI Paradigm for Manufacturing, **17**(3), 253-270.
 Kulvatunyou, B., Wysk, R. A., Cho, H., and Jones, A. T. (2004), Integration Framework of Process Planning based on Resource Independent Operation Summary to Support Collaborative Manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **17**(5), 377-393.
 Kulvatunyou, B., Cho, H., and Son, Y. (2005), A Semantic Web Service Framework to Support Intelligent Distributed Manufacturing, *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*, **9**(2), 107-127.
 Lastra, J. M. and Delamer, I. M. (2006), Semantic Web Services in Factory Automation: Fundamental Insights and Research Roadmap, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **2**(1), 1-11.
 Lee, D., Kiritsis, D., and Xirouchakis, P. (2001), Simulated Annealing Algorithms for Operation Sequencing in Nonlinear Process Planning, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **27**(3), 315-327.
 Lee, J. Y., Lee S., Kim, K., Kim, H., and Kim, C. (2006), Process-Centric Engineering Web Services in a Distributed and Collaborative Environment, *Computers & Industrial Engineering*, **51**, 297-308.
 Smith, C. S. and Wright, P. K. (1996), CyberCut : A World Wide Web based Design-to-Fabrication Tool, *Journal of Manufacturing Systems*, **15**(6), 432-442.
 Shin, J. and Cho, H. (2001), Planning and sequencing heuristics for feature-based control of holonic machining equipment, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, **13**(1), 49-70.
 Sriram, R. and Candadai, A. (1996) Agile Infrastructure for Manufacturing Systems (AIMS) : A Pilot Program, In proceedings of the 5th National Agility Forum Conference, Boston, MA.
 Woo, J., Kulvatunyou, B., and Cho, H. (2007) Allocation of Manufacturers through Internet-based Collaboration for Distributed Process Planning, *International Journal of Production Research*, (DOI : 10.1080/00207540601008432) 1-17.