

## 동시공학적 접근법 및 응용 사례

방인홍\* · 김영호\*\* · 유건희\*\*\*

### Approaches to Concurrent Engineering and A Case Study

In-Hong Bang · Yeongho Kim · Kun-Hi Yu

(Abstract)

Recently, it has been widely conceived that Concurrent Engineering (CE) can provide a competitive edge for companies that have confronted with rapidly changing market requirements, such as shortening of product life-cycles, high quality and low cost products, diversity of customer demand, and so on. CE is generally recognized as a practice to bridge the gap between designing a product and other various life-cycle activities, such as manufacturing, assembly, testing, and maintenance, at an early stage of design. In this paper the concepts of CE is first overviewed, and many of its supporting tools are discussed. It is then proposed an architecture of a CE support system that can provide a unifying view of the tools. Finally, a case that has successfully implemented the concepts is presented.

#### 1. 동시공학

컴퓨터 기술개발의 가속화와 함께 관련 여러 분야에서 시스템통합(System Integration)의 중요성이 매우 강조되고 있으며, 이에 대한 많은 연구 및 응용의 결과가 발표되고 있다. 최근 제품수명주기의 단축, 국제 경쟁의 격화, 소비자 요구의 고품질화와 다양화 등과 같은 시장환경의 급속한 변화에 대처하여 기업은 경쟁력을 유지·제고하기 위해 많은 노력을 기울여 오고 있다. 동시공학은 제품수명주기상의 여러 독립적 단위 활동들 또는 이를 지원하는 시스템들을 통합함으로써 이와 같은 시장환경에 능동적으로 대처할 수 있는 한 가지 방안으로 주목받고 있다.

이 논문에서는 먼저 동시공학에 대해 전반적으로 알아보고, 이에 대한 여러 접근법, 지원 툴, 시스템 구조와 기능 등을 논하며, 동시공학의 개념을 성공적으로 활용한 사례를 소개하고자 한다.

##### 1.1 정의

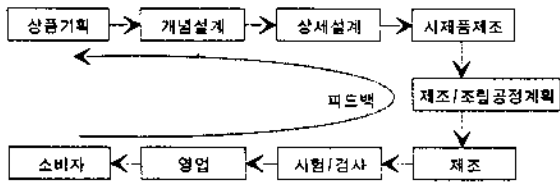
모든 제품은 설계에서부터 최종소비자가 이를 사용할 때까지 <그림 1>과 같이 일련의 과정(단계)을 거치게 된다. 그러나 각 단계의 고도의 전문성 또는 단계간의 커뮤니케이션의 부족으로 각각의 단계 사이에는 보이지는 않지만 높은 벽이 생기게 되고, 따라서 많은 제품의 경우 재설계 또는 설계 변경을 필요로 하

\* 금성생산기술연구소 제1연구소실

\*\* 전북대학교 산업공학과

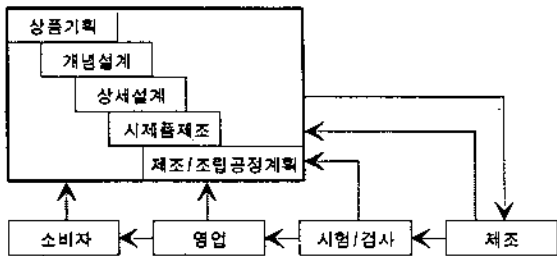
\*\*\* 금성생산기술연구소 부사장

게 된다. 일반적으로 설계자는 제품의 요구되는 기능에 초점을 맞추어 그 제품을 설계한다. 그러나 설계자의 부품 제조과정, 완제품 조립과정, 시험·검사 방법에 대한 지식 부족으로 인하여 많은 경우 제조원가 상승, 조립공정의 어려움, 시험·검사·유지·보수의 곤란함 등의 문제가 유발될 수 있다. 한 제품의 최종 설계가 확정되기까지는 초기설계 이후에 발생하는 이러한 제문제들을 해결하기 위한 많은 설계 변경을 거치게 된다. 그러나 이 같은 설계 변경은 제품의 개발기간을 연장하여 신제품의 시장 진입 타이밍을 상실할 뿐만 아니라, 원가 상승, 생산 계획의 차질을 가져오게 되어 기업의 경쟁력에 치명적인 영향을 미칠 수 있다.



〈그림 1〉 기존의 제품수명주기

동시공학은 초기설계단계부터 제품의 기능적 측면 뿐만 아니라 설계와 관련된 제반 요인들 - 부품 제조 용이성, 완제품 조립용이성, 검사의 편의성, 서비스 우수성 등 - 을 동시에 고려하는 엔지니어링의 복합화를 추구한다. 〈그림 2〉는 이 같은 동시공학의 기본 이념인 엔지니어링의 복합화를 개념적으로 보여주고 있다.



〈그림 2〉 동시공학의 개념

미국의 DARPA(Defense Advanced Research Projects

Agency) 프로젝트 이후 동시공학에 대해서는 다음을 포함하여 많은 연구자들이 나름대로 정의하고 있다.

(1) 동시공학은 제조공정 및 관련 지원활동을 포함한 모든 프로세스와 설계활동을 동시통합하는 체계적인 접근법이다. 이는 제품개발자로 하여금 제품기획부터 폐기에 이르기 까지 품질, 원가, 생산계획, 고객 요구사항 등 모든 수명주기상의 요소들을 고려한다 [11].

(2) 동시공학은 제품수명주기상의 다양한 활동간의 커뮤니케이션과 상호작용을 지원하는 전략적 접근법이자 설계프로세스를 조직화하는 방법론이다 [27].

(3) 동시공학은 수명주기스펙트럼의 여러 요소들을 통합하여 개발기간을 단축시키고, 비용을 줄이며, 품질을 향상시키기 위한 제품개발활동의 개선책이다 [22].

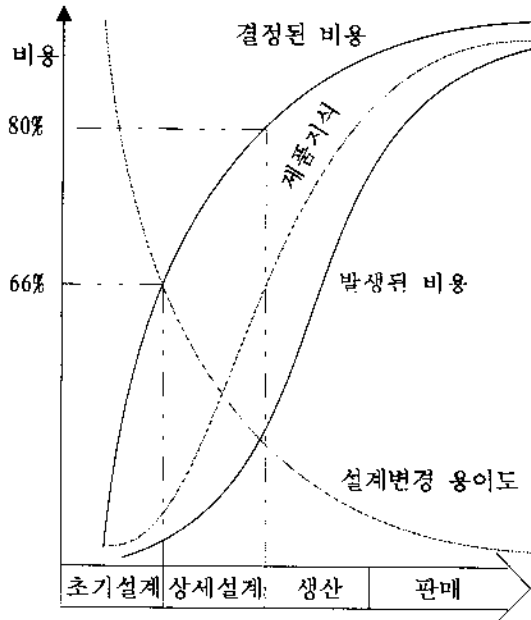
(4) 동시공학은 제품설계, 개발, 마케팅, 제조, 판매에 있어서 회사의 모든 지식, 자원, 경험 등을 초기단계부터 가능한 통합하여 고품질·저원가 그리고 고객의 기대를 만족하는 신제품을 창조하는 것이다 [20].

이 같이 동시공학에 대한 많은 정의가 있지만 그 핵심은 대체로 일치한다고 볼 수 있으므로, 다음과 같이 종합할 수 있을 것이다. “동시공학은 설계 초기단계부터 제품의 고유 기능 뿐만 아니라 제조, 조립, 검사, 서비스 용이성 등 제품수명주기상의 여러 단계에서 설계와 관련된 엔지니어링 지식을 병렬적으로 통합함으로써 개발기간을 단축하고, 개발비용을 절감하며, 품질과 생산성을 향상시키기 위한 제활동을 일컫는다.” 또한 동시공학(Concurrent Engineering)이라는 명칭과 동시성공학, 동시병렬설계, Simultaneous Engineering, Life-Cycle Engineering, Product Realization Process 등은 모두 같은 의미로 쓰이고 있다.

### 1.2 중요성

제품수명주기 단축의 가속화, 소비자 구매요구의 다양화, 그리고 경쟁의 격화 등과 같은 어려운 기업 환경 속에서 고품질 제품의 신속한 개발과 원가 절감은 기업이 지속적으로 성장하고 발전하기 위한 중요한 열쇠이며, 부문간의 전문성이 심화될수록 동시공학의

필요성은 점증한다. 동시공학의 중요성은 여러 방법으로 설명할 수 있다. 여기서는 제품원가, 개발기간, 그리고 품질의 세 가지 측면에서 동시공학의 타당성을 논하고자 한다.

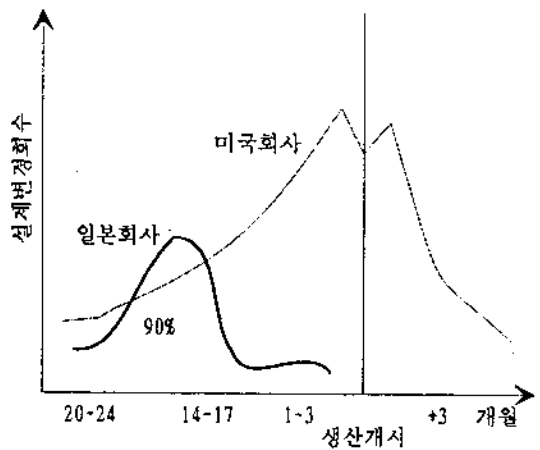


〈그림 3〉 수명주기비용 그래프 [9]

(그림 3)은 수명주기에 따라 상대적으로 ‘결정된 비용’과 실제로 ‘집행된 비용’과의 관계를 보여주기에 위한 것으로 수명주기비용 그래프라고 한다 [9]. 먼저 두 개의 점선은 각각 제품개발단계의 후반부로 가면서 제품에 대한 지식이 점차 누적됨을, 그리고 설계 사양을 변경하는 것이 점점 어려워짐을 나타낸다. 한편 두 개의 실선은 모두 누적비용을 타내는 데 아래의 실선은 실제 발생한 비용을 그리고 위의 실선은 실제로 발생하지는 않았지만 이미 결정된 비용을 나타낸다. 대부분의 비용이 자재비, 인건비, 기타 운영비의 형태로 생산단계에서 발생하므로, 이 생산단계의 활동을 합리화하고 개선함으로써 원가를 절감하려는 노력을 광범위하게 진행해 왔었고, 또 많은 성과를 거두었다. 그러나 이러한 실제로 발생한 비용은 사실상 설계단계에서 대부분 결정된다. NSF [17] 등에서는 설계단계에서 결정되는 비용이 전체의 80%에 달한다

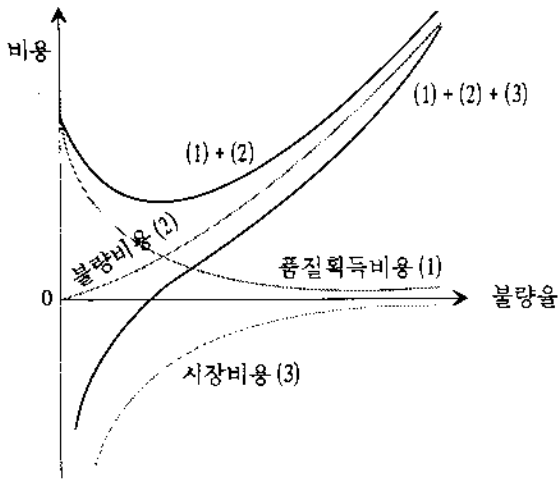
고 보고하고 있다. 그러므로 생산단계에서의 개선활동은 설계단계의 여러 결정사항에 의해 크게 제약을 받을 수 있고, 또 그 성과에도 한계가 있을 수 있다. 따라서 개선활동의 시각을 생산단계에서 설계단계로 옮김으로써, 다시 말해서 문제의 해결이 아닌 예방을 통한 개선이 동시공학이 추구하는 바이다.

(그림 4)는 생산개시를 기준으로 기간별 설계변경 회수를 미국과 일본을 예로 들어 비교한 것이다 [10]. 일본의 경우 대부분의 설계변경은 생산개시 이전에 이루어지고, 일단 생산이 시작되면 더 이상의 설계변경은 거의 일어나지 않는다. 그러나 미국의 경우 생산개시 직전 가장 많은 변경이 일어나고 생산이 시작된 후에도 계속 설계를 변경하고 있음을 알 수 있다. 생산개시 이후의 설계변경은 생산계획 수정, 설비 및 라인 변경, 부품조달 불안정, 가동률 저하, 제품개발 기간 장기화 등 여러 가지 문제를 유발하고, 원가 상승의 주요 원인이 된다. 일본의 경우는 비록 동시공학이라는 명칭을 사용하지 않았더라도 이 개념을 체질화하고 실천하고 있었으므로 이러한 설계변경의 문제를 예방하고 있다. 조기에 설계사양을 확정함으로써 전체 제품개발기간을 단축하는 것은 동시공학의 중요한 한 가지 목표이다.



〈그림 4〉 일본과 미국의 설계변경

마지막으로 품질과 관련된 비용이 〈그림 5〉에 정리되어 있다. 낮은 불량율을 획득하려 할수록 품질획득



〈그림 5〉 품질비용 회수 및 시기 비교 [10]

비용은 급격히 증가한다. 반면에 불량율이 높을수록 보증수리비용등의 불량비용이 증가할 것이다. 따라서 이 두 비용을 합하여 최소가 되는 개념적 최적품질수준을 생각해 볼 수 있다. 그러나 여기에는 세 번째 품질비용 요소라 할 수 있는 시장비용을 고려하지 않고 있다. 고객은 더 이상 품질이 나쁜 제품을 구입하지 않으려는 반면에 고품질의 제품에 대해서는 높은 대가를 지불하려는 성향을 보이고 있다. 따라서 고품질의 제품에 대해서는 이를 획득하기 위한 높은 비용에도 불구하고 많은 이득을 실현할 수 있다. 최근 다시 고조되고 있는 품질에 대한 관심과 노력의 타당성을 이와 같이 설명할 수 있을 것이다. 여기서 품질은 고객만족도와 일맥상통하는 것으로, 동시공학에서는 고객을 제품개발프로세스에 포함시킴으로써 고객의 요구를 정확히 파악하고 제품에 반영하는 것이 필수적이며, 이를 위한 여러 기법을 제시하고 있다.

### 1.3 연구동향

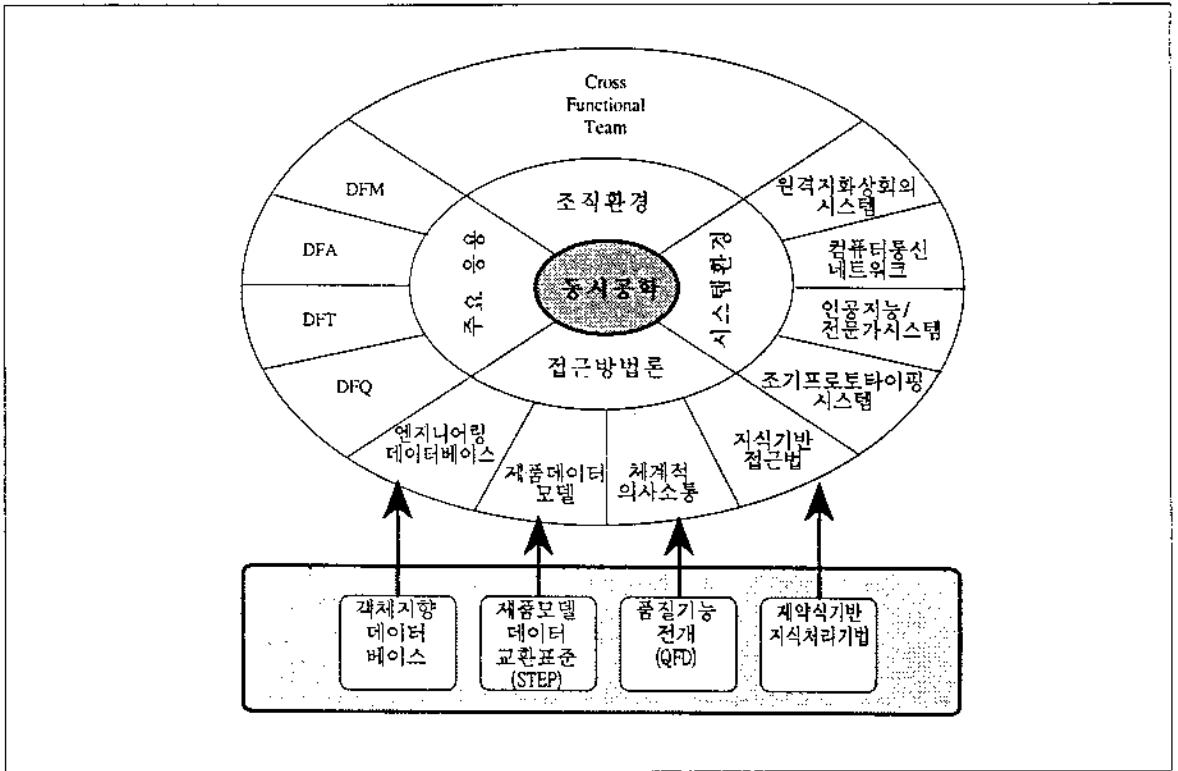
이와 같은 동시공학에 대한 국내·외 관련 산·학·연 연구자들의 연구와 관심이 높아지고 있는 추세이다. 미국을 중심으로 국외에서는 많은 연구성과가 보고되고 있다. 최근 동시공학 교유의 이론, 기법, 사례 등을 다루게 될 전문학술지(J. of Concurrent Engineering)의 창간과 각종 관련 학술지의 동시공학 특집 계

획을 통해서도 이에 대한 관심도를 알 수 있다. 그리고 NSF (National Science Foundation)의 동시공학 프로그램에 대한 지원[14, 17], 동시공학을 포함한 지능형 제조공학시스템의 국제공동(미국, 캐나다, 일본 등) 연구를 위한 IMS (Intelligent Manufacturing Systems) 결성, ASME (American Society of Mechanical Engineers)의 동시공학 연례 심포지엄[22] 개최, 일본능률협회(JMAC)의 동시공학 전담 컨설팅팀 등은 동시공학에 대한 활발한 국제적 연구추세를 잘 반영해 주고 있다. 또한 Carnegie Mellon 대학의 EDRC(Engineering Design Research Center)와 West Virginia 대학의 CERC (Concurrent Engineering Research Center)처럼 동시공학 관련 연구센터를 운영하는 대학이 있는가 하면, MIT, Illinois 대학 (at Urbana Champaign), North Carolina 주립대 등 미국의 여러 대학에서 동시공학연구팀이 활동하면서 다양한 연구결과를 발표하고 있다. 이와 같은 활동의 결과는 GM, Ford, Chrysler, Northern Telecom, Hewlett-Packard, GE, 등 Fortune 500 내의 많은 업체에서 적극적으로 활용되고 있는 실정이다.

국내에서도 동시공학의 중요성이 점차 인식되고 있고 국책연구소를 중심으로 기초연구가 진행되고 있지만, 아직 본격적인 연구활동에는 미치지 못한다고 할 수 있다. 국내의 동시공학 관련 활동을 산·학·연별로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 먼저 대표적인 기업체 응용사례로는 금성생산기술연구소의 총합합리화 활동이 있다. 이에 대해서는 그 성과를 중심으로 뒤에 다시 논의할 것이다. (주) 금호에서는 타이어 설계를 위한 동시공학의 활용을 전략적으로 추진하고 있다 [4]. 학계의 연구논문으로는 [3, 12, 18, 23] 등을 들 수 있다. 이 밖에도 월간 'CAD/CAM'이 동시공학에 대한 기획시리즈를 통해 이를 개략적으로 소개하고 있고, '컨커런트 엔지니어링'은 일본능률협회의 컨설팅 경험을 요약하고 있다.

## 2. 동시공학 접근법

이와 같이 동시공학에 대해서는 많은 연구활동이 있어 왔다. 이 가운데 동시공학지원시스템의 구조에 대한 연구들이 제안하고 있는 시스템의 구성 모듈들



〈그림 6〉 동시공학지원시스템의 구성 모듈

을 〈그림 6〉과 같이 요약하여 정리할 수 있다.

동시공학을 효과적으로 지원하기 위해서는 크게 조직 환경, 시스템 환경, 접근방법론, 주요 응용분야의 네 가지 측면이 서로 조화를 이루어야 한다. 첫째, 기존의 기능분담에 의한 단계적 조직체제를 바꾸어 기능교차에 의한 매트릭스조직 또는 팀활동을 골차로 하는 조직론적 접근이 무엇보다 중요하다. 둘째, 동시공학을 지원하기 위한 하드웨어적 시스템 환경 요소로 원격지화상회의시스템, 컴퓨터통신네트워크, 인공지능 또는 전문가시스템, 조기프로토타입시스템 등이 있다. 셋째, 동시공학을 성공적으로 지원하기 위해서는 데이터베이스, 제품데이터모델, 체계적 의사소통, 지식기반접근법 등 기술적 접근법에 대한 연구가 필수적이다. 넷째, 앞에서 설명한 환경과 방법론들을 제품과 기업의 특성이나 제품개발프로세스의 일부 단계에 초점을 맞추어 여러 가지로 특화한 응용시스템을 개발할 수 있다. 여기서는 동시공학에서의 팀활동, 기

술적 접근법, 그리고 몇 가지 응용시스템들에 대해 보다 구체화하기로 한다.

### 2.1 팀활동

‘조직은 전략을 따른다.’ 라는 A. D. Chandler의 가설처럼 조직은 전략을 효과적으로 수행하기 위한 도구라 할 수 있다. 동시공학은 변화하는 시장환경에 능동적으로 대처하여 제품을 개발하고 실현하는 전략이다. 따라서 이 전략이 가지는 특성에 맞추어 조직을 단력적으로 재배열 할 필요가 있다. 정의에서 알 수 있듯이 제품수명주기상의 모든 단계에서 발생할 수 있는 예상되는 문제점을 설계초기 단계에서부터 고려하는 것이 동시공학의 중요한 한 가지 개념이다. 따라서 개발하려는 제품과 관련이 있는 모든 부서들의 상호관계적 정보를 원활하고도 체계적으로 통합하고 공유하는 것이 중요하다. 그러나 기존의 기업조직은

수평적으로는 고도로 전문화되어 있고, 수직적으로는 지나치게 세분화·계층화되어 있다. 이런 전문화와 계층화는 기업 환경의 급격한 변화에 신속히 대처하고 기업간 경쟁에 대처하는 데 많은 문제를 노정시켜 왔다. 제품개발에 있어 수평적 전문화의 심화는 타분야에 대한 지식의 부족, 협력활동의 부재, 불필요한 퍼드백 사이클의 반복 등으로 개발기간을 장기화시킨다. 더구나 지나치게 세분화된 수직계층 구조는 기업 활동을 정체시키고 따라서 전술한 문제를 더욱 악화시킨다. 기존의 수직적 기업조직의 저하와 심화된 기능의 전문화를 극복하여 효과적인 통합을 이루기 위해서는 혁신을 요구한다는 점에서 최근 관심을 모으고 있는 비즈니스 프로세서 리엔지니어링과 개념상의 유사점을 발견할 수 있다.

동시공학에서 팀구축의 주요 목적은 원활한 커뮤니케이션을 통한 정보와 지식의 공유이다. 제품개발의 여러 국면에서 필요한 전문지식을 동시·병렬적으로 고려할 수 있는 팀을 구성하기 위해서는 상품기획, 기술개발, 설계, 제조, 구매, 생산계획, 판매·영업, 검사·시험 등 색다른 업무를 전담하는 전문가들 뿐만 아니라 고객까지도 포함하는 광범위한 기능교차적 팀을 구성해야 한다. 이러한 팀을 복합기능팀(cross-functional team)이라 한다. 동시공학팀의 성공적 운영을 위해서는 기존의 여러 가지 전략적 혁신방안에서 제안된 팀운영과 마찬가지로 명확한 비전(vision)의 제시, 의사결정 권한의 위임과 자기 통제, 상호존중과 신뢰의 분위기, 팀의 동기화 및 교육, 최고경영자의 적극적 이해와 지원이 필수적이다. 위원회나 서클활동 팀 같이 기업내에 상존하는 조직과는 달리 동시공학팀은 제품개발기간과 수명을 같이 한다. 특정 제품개발의 시작과 동시에 팀이 구성되고, 이 목표의 완료와 함께 팀은 해체되는 것이다. 또한 지리적, 조직적인 제약으로 물리적 팀을 구성할 수 없을 때 컴퓨터 통신을 이용한 팀을 구성하여 제품개발 활동을 추진할 수도 있는 데 이를 가상팀(virtual team)이라고 한다. 그러나 팀의 효과적인 운영을 위해서는 기존 조직과의 문화적 차이 극복, 팀 구성 및 운영 경비 부담(가상팀의 경우), 적절한 팀평가 방법의 부재 등 많은 어려움이 있다. 특히 우리 나라의 경우 전술한 것

과 같은 팀문화의 부족은 가장 큰 문제로 지적할 수 있다. 따라서 많은 경우 팀활동이 제품개발 전체를 책임지기보다는 개발제품의 사후 평가를 위해 운용되고 있다.

## 2.2 기술적 접근법

분야가 다른 전문가들의 팀워크가 동시공학의 가장 자연스러운 구현 형태이자 핵심이다. 그러나 이의 효과적 운영을 위해서는 여러 가지 기술적인 문제가 선결되어야 한다. 본 절에서는 동시공학적 팀활동을 지원하는 몇 가지 기술적 접근법을 소개한다.

### 1) 엔지니어링 데이터베이스

제품수명주기가 단축되고 단계간의 영향력이 증대됨에 따라 상호 정보의 공유가 매우 중요한 과제로 등장하게 되었다. 이런 정보공유를 실현하는 기반이 곧 데이터베이스 개발이다. 과거 수년간 개발되어 온 데이터베이스 기술은 전형적인 비즈니스 응용에서 그 영역을 확장하여 제품의 설계, 생산, 공정계획, 해석 등의 분야에 이용되고 있다. 그러나 이러한 개별 기능들은 독립적으로 개발되어 왔기 때문에 그리고 각 기능들에 필요한 다양한 데이터 유형과 구조 그리고 복잡하게 연관된 처리방식 때문에 이들을 통합하는데 많은 어려움이 있다. 엔지니어링 데이터베이스는 공학용 정보의 통합과 관리를 위한 데이터베이스 기술을 가리킨다. 동시공학에서는 CAD데이터, 제조데이터, 관리데이터 등 제품수명주기상의 모든 제품관련 정보를 다룬다는 점에서 엔지니어링 데이터베이스는 이의 가장 핵심적인 기술요소인 것이다. 제품에 대한 각종 기술, 정보, 지식을 통합적으로 관리하는 엔지니어링 데이터베이스는 제품을 설계하고, 이를 해석·평가하며, 공정을 통제하고, 생산계획을 작성하는 여러 응용 프로그램을 지원한다.

기존의 관계형 데이터베이스로는 이와 같은 다양하고 구조가 복잡한 정보들에 대한 통합적 데이터 모델링에 한계가 있다 [5]. 최근 이 결점을 해소하기 위한 수단으로 객체지향적 개념을 데이터베이스 시스템에 적용한 객체지향형 데이터베이스가 주목받고 있고,

UniSQL, Gemstone, Vbase, ODE 등 상용 시스템들이 발표되어 있다 [2]. 이는 관계형 데이터베이스와 비교하여 다음과 같은 장점들이 있다. 첫째, 사용자가 정의하는 추상적 데이터 타입(abstracted data type)을 이용하여 제품과 관련된 다양한 형태의 자료를 체계적으로 표현할 수 있다. 둘째, 객체지향모델의 상속성(inheritance)은 복잡한 제품제조 관련 정보의 계층적 모델링을 지원하며, 속성을 상속체계에 따라 재사용하는 것이 가능하다. 셋째, 객체의 자료와 이를 처리하는 프로그램을 결합하는 매소드(method) 개념으로 자료처리를 일관되게 관리하고, 제품설계 및 생산계획에 필요한 멀티미디어형 자료처리를 손쉽게 한다. 이런 데이터베이스 시스템을 설치하기 이전에 정보처리 프로세스를 모델링하고 개선하는 작업이 선행되어야 하는데, 이를 위한 기법으로는 Deployment flowchart [1], IDEF [8] 등이 있다.

## 2) 제품데이터모델

시스템통합을 구현함에 있어서 가장 먼저 봉착하게 되는 문제 가운데 하나가 바로 개별 시스템간의 정보교환이다. 제품설계단계에서 후속단계의 영향을 고려하기 위해서는 제품모델에 대한 정보교환이 필수적이다. 대표적 예로 IGES(Initial Graphic Exchange Specification)를 들 수 있으나 이는 이기종 CAD시스템간의 CAD 데이터 교환을 위한 것이다. IGES 개념을 확장하여 제품정보교환을 위한 새로운 국제표준으로 ISO(International Standard Organization)의 STEP(STandard for the Exchange of Product model data)이 있다. STEP은 모든 산업체에서 쓰이는 제품수명주기상의 모든 공학적 데이터 교환의 국제적 표준을 개발한다는 목표로 인해 많은 연구자들의 관심을 모으고 있고, 우리 나라에서도 이에 대한 연구회가 결성되어 산·학·연의 관련 연구자들이 정기적으로 세미나를 개최하고 있다. STEP의 개발 배경, 목표, 구조 등에 대해서는 [19]를 참조할 수 있다.

STEP에서 다루는 여러 연구주제 가운데 feature를 기반으로 한 모델링 기법이 있다. Feature는 제품수명주기상의 한 단계(설계, 제조, 조립, 검사 등)에서 공학적 의미를 갖는 특성들, 즉, 하위 수준의 설계정보

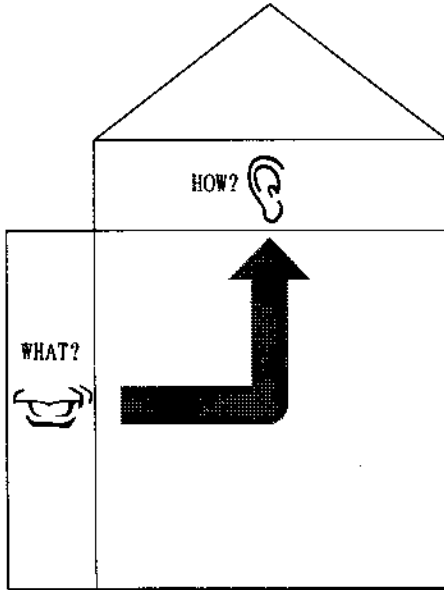
를 추상화한 것을 말한다. 이 개념은 형상특성(form feature)으로부터 시작하여, 제조특성(manufacturing feature), 조립특성(assembly feature), 물성특성(physical feature) 등으로 확장되어 왔다. STEP이 추구하는 주목적 가운데 하나가 동시공학을 위한 제품모델데이터의 교환이며, feature는 이를 위한 가지 핵심 방법론이다.

## 3) 체계적 의사소통

고객이 요구하는 바를 제품설계를 비롯한 관련 기능부문의 활동에 반영하기 위해서는 이들 간의 체계적 의사소통 수단이 필요하다. 고객의 요구(Needs)와 회사의 기술력(Seeds) 사이의 N-S관계를 밝히는 수단으로 품질기능 전개(QFD: Quality Function Deployment)기법 [10]이 유용하다. 1972년 일본 미쓰비시사의 고베조선소에서 처음으로 사용된 후 전자, 가정용 기기, 의류, 집적회로, 건설장비, 농업용기계 등을 생산하는 많은 일본의 회사가 이를 성공적으로 적용했을 뿐만 아니라 DEC, GE, Hewlett-Packard, AT&T, ITT, Ford, GM 등 미국회사도 이를 사용하고 있다.

품질기능 전개 기법에서는 <그림 7>과 같은 이른바 품질주택(House of Quality)을 이용하여 소비자의 요구를 회사의 각 기능부문으로 변환하여 전달한다. 품질주택의 좌측에는 소비자의 요구사항을, 그리고 상단에는 이 요구사항을 충족시키기 위한 기술적 특성을 나열한다. 품질주택의 우측과 하단에는 각각 요구사항과 기술적 특성의 현재 상태를 경쟁기업의 그것과 대비시킨다. 그리고 품질주택의 내부에는 요구사항과 기술적 특성의 관계를 표시하고, 지붕에 해당하는 부분에는 기술적 특성간의 상관관계를 나타낸다. 이들 품질주택에 표시된 요소들을 분석함으로써 소비자 요구사항들의 우선순위 및 이를 만족하기 위해 개발해야 할 기술적 특성의 우선순위를 도출할 수 있다. 한편 도출된 기술적 특성들은 또 다시 다른 품질주택의 입력으로 활용되어 그 특성을 구현하는 부품특성을 유도하고, 이는 다시 제조공정 특성을 찾아내기 위해 입력된다. 다시 말해서 소비자 요구 - 기술적 특성 - 부품특성 - 공정특성 - 공정계획의 제품개발프로세스에서 각 링크를 N-S관계로 보고, 소비자의 요구를 제품

의 설계부터 생산에 이르기 까지 각 단계에 필요한 형태의 정보로 체계적인 변화를 이끌어 내는 것이 곧 품질기능전개 기법인 것이다.



(그림 7) 품질주벽

#### 4) 지식기반접근법

한편 대부분의 관련 연구가 지식기반시스템을 동시공학지원시스템의 중요한 구성모듈로 파악하고 있다. 이들은 대체로 응용분야별로 전문가시스템을 개발하고 있는 데, 크게 규칙을 이용한 추론법[24], 객체지향적 접근법[13], 다양한 인공지능 기법 [15, 26] 등으로 대별할 수 있다. 이들 각각에 대해서는 관련 참고문헌을 찾아 볼 수 있을 것이다. 여기서는 이들 지식기반시스템의 기초라고 할 수 있는 지식표현법 가운데 제약식네트워크를 이용하는 것을 소개하고자 한다.

제약식네트워크는 변수와 변수들간의 관계를 나타내는 제약식 그리고 변수가 취할 수 있는 값들의 집합인 영역(domain)으로 정의된다. 이 제약식네트워크는 일반적인 수리적 제약뿐만 아니라 IF-THEN 규칙과 데이터베이스 테이블 등 매우 다양한 형태의 수치

적 또는 비수치적 제약식을 표현하는 것이 가능하다. 제약식네트워크 문제라 함은 모든 제약식을 만족하는 하나의 해 또는 모든 해를 구하는 것을 말한다. 다양한 형태의 제약식네트워크 표현 방법 그리고 그 해법과 처리 시스템에 대한 기존의 연구가 많이 있으며, 시뮬레이션, 설비 배치, 스케줄링, 사용자 인터페이스 디자인, 문서 규격화, 알고리즘 애니메이션, 기계 장치의 설계 분석 지원, 전자회로 설계 등 매우 광범위하게 그 응용 분야가 개발되어 왔다 [11].

동시공학지원시스템은 일반적으로 여러 형태의 정보를 처리할 수 있어야 한다. 따라서 제약식네트워크를 이용하여 동시공학에서 제기되는 여러 문제를 모형화하는 시도가 많이 있었다. [16, 21, 28] 등을 예로 들 수 있다. [12]는 페트리네트의 개념을 이용한 메타네트(Meta-Net)라는 상위수준 표현법으로 제약식네트워크상의 정보흐름을 간단하면서도 강력하게 표현하고 있다. [18]는 AND/OR 트리구조를 이용하여 제약식네트워크를 계층적으로 표현하고, 계층간의 관계성을 규명하였으며, 계층구조에서 해를 발견하는 절차와 복잡성(complexity)에 대해서 논하였다. 제약식네트워크를 계층적으로 표현함으로써 복잡하고 규모가 큰 모형의 이해도 증진, 모형과 복수사용자 간의 조화, 확장의 용이성, 복잡성 감소 등의 이점을 추구할 수 있다. 이런 제약식네트워크 처리시스템은 동시공학 문제를 표현하고 해결책을 찾는 전문가시스템을 개발하는 좋은 기반을 제공한다 할 수 있다.

### 2.3 응용시스템

#### 1) DFA

DFA(Design For Assemblability), 즉, 조립용이성 평가는 가장 많은 연구가 된 동시공학 응용 분야이라 할 수 있다. 이는 주로 부품 개수 최소화, 모듈화 디자인, 부품 결합방식, 부품 취급방법 등에 대한 기준 또는 규칙을 적용하여 제품의 조립용이성을 평가하고 이를 개선하는 것이 목적이다. 자동조립, 수동조립 등 조립 방법에 따라 여러 기법이 있으며, 체계적인 정량적 평가방법으로는 Boothroyd and Dewhurst 법 [7], Hitachi의 AEM(Assemblability Evaluation Method)법 [25],



Zorowski의 PDM (Product Design Merit)법 [29], Toshiba의 PEM(Productivity Estimation Method)법 등이 있고, 이러한 방법들을 소프트웨어적으로 지원하는 툴들[6]도 많이 나와 있다.

## 2) DFM

제조용이성평가(DFM: Design For Manufacturability)는 설계단계에서 제조시스템 전체의 효율성을 고려한 설계대안을 만들기 위한 것으로 제조원가, 생산성, 제조 방법 등을 평가한다. 이는 DFA 못지 않게 많은 관심을 모으고 있으나, 제조와 조립이 밀접하게 연관된 활동이라는 점에서 때로는 DFA와 같은 수준의 개념으로 이해하기도 한다. 그러나 Machining, Casting, Forming, Injection molding 등 다양한 종류의 제조방법에 따라 적합한 평가 기준 및 방법을 적용해야 하므로 앞으로 많은 연구가 필요한 분야이기도 하다.

## 3) DFX

이 외에도 검사용이성평가(DFT: Design For Testability), 품질평가(DFQ: Design For Quality), 분해용이성평가(DAAs: Design For disAssemblability), 분석용이성평가(Design For Analysis) 등 제품특성이나 공정특성에 따른 다양한 응용에 대한 연구가 있다. 이러한 것들을 통칭하여 DFX라고 하기도 한다.

# 3. 동시공학지원시스템

## 3.1 시스템 요구 조건

어떤 시스템이 동시공학을 효과적으로 지원하기 위해서는 여러 가지 요구조건들을 충족시켜야 한다. 이 가운데 기본적으로 중요한 것들을 다음에 나열하였다.

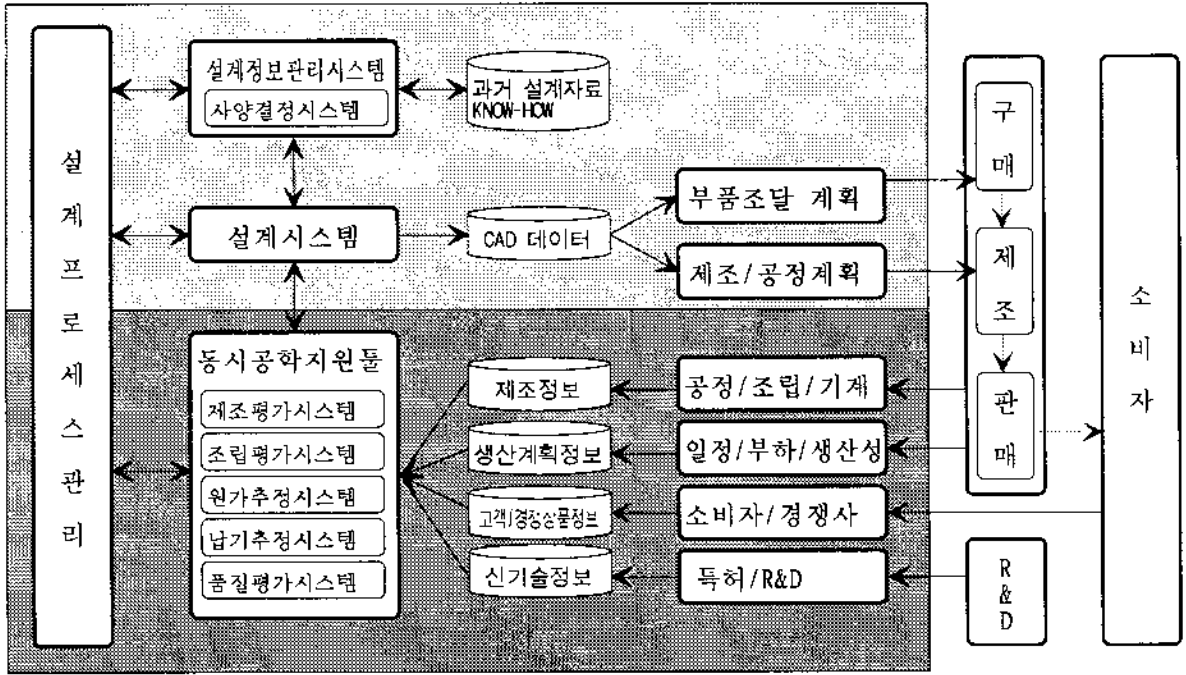
- 많은 양의 데이터를 신속히 처리할 수 있는 능력
- 여러 가지 다양한 상황 또는 응용 분야에 적용 가능한 유연성
- 불완전 또는 불확실한 데이터의 처리 능력
- 효과적인 사용자 중심의 인터페이스
- 부문간 상충 해결 능력

- 데이터베이스, CAD 등의 타 엔지니어링 시스템과의 연계

이 이외에도 정량적 및 정성적 분석 능력, 분석·평가 결과의 설명 능력, 오류 발견 및 원인 추적 기능, 대안 도출 기능, 다양한 종류의 지식 표현력, 우수해를 찾기 위한 시스템의 성능 개선 등에 집중적 연구가 요구된다.

## 3.2 시스템 구조

<그림 8>은 동시공학지원시스템을 구성하는 여러 모듈들과 이들 간의 정보흐름 구조를 전체적으로 보여준다. 그림의 가장 오른쪽 부분에 설계 이후부터 제품이 소비자에게 인도되기까지의 과정이 간단히 표시되어 있다. 동시공학지원시스템은 이러한 단계들에서 발생하는 정보를 설계지식과 결합하여 이용하는 것을 지원할 수 있어야 하며, 또 설계의 결과를 이후의 각 단계에서 필요로 하는 정보로 변환하여 제공하는 기능을 갖추어야 한다. 전자를 평가기능, 그리고 후자를 계획기능이라고 부를 수 있다. 구매, 제조, 판매, R&D, 소비자 등으로부터 발생하는 각종 제품관련 정보 - 제조 공정, 조립 방법, 기계 특성, 생산 일정, 공정 부하, 생산성, 소비자 요구, 경쟁사 제품, 특허, 신기술 정보 등 - 는 해당 데이터베이스에 유지·관리된다. 사양결정시스템, 제조/조립성평가시스템, 원가/납기추정시스템, 품질평가시스템 등의 동시공학지원툴들은 위의 데이터베이스로부터 적절한 정보를 추출하여 설계대안들에 대한 각종 평가를 수행한다. 대체로 제품 설계는 과거의 설계자료와 노하우를 이용하는 경우가 많은데, 이들 정보는 설계정보관리시스템이 관리하며 필요할 때 마다 설계시스템으로 제공된다. 설계시스템은 설계정보관리시스템의 지원을 받으면서 설계대안들을 생성하고, 동시공학지원툴의 평가를 토대로 대안들을 수정하며, 최종설계를 실제로 구현하기 위한 부품조달, 제조/공정계획을 수립한다. 이러한 전체 설계프로세스는 설계프로세스관리시스템에 의해서 조정된다. 앞 절에서 논의한 접근법들을 이용하여 <그림 8>을 구성하는 각 하위 모듈들을 구현하고, 이들을 통합하는 작업에 대해 앞으로 계속 연구가 이루어져야



<그림 8> 동시공학지원시스템의 정보흐름 체계

할 것이다.

### 4. 응용사례

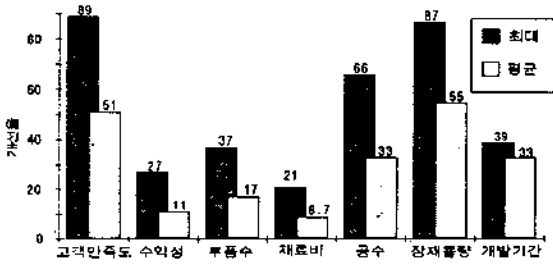
과거에는 사업장별 또는 공정별로 각종 합리화 기법이 개발 적용되어 왔으나, 이러한 단위공정별 합리화 기법은 빠른 시장환경에 대응하거나 고객의 만족, 경영수익의 개선에는 전체적으로 미흡한 수준이었다. 이제는 시장환경이 과거와는 달리 고객이 원하는 좋은 상품을 적절한 때 적절한 가격으로 공급하지 않으면 기업의 존립 자체가 힘들 정도이다. 따라서 개선 활동도 문제해결에서 원류단계의 해결로, 바톤터치형에서 동시진행형 개발활동으로, 부분별 개선활동에서 전부서의 중지를 결집한 개선활동으로의 변화가 필연적이다. 이러한 상황에서 동시공학의 도입은 히트 상품의 창출과 경영수익의 개선으로 연결되어 큰 효과를 거두고 있다. 금성내의 동시공학활동은 총합합리화라는 프로젝트로 추진되고 있다. 이는 크게 상품 개선과 생산시스템 개선의 두 단계로 나누어지며 점차

개발프로세스의 총체적인 혁신으로 발전되고 있다. 총합합리화의 추진체제는 전부서가 참여한 5~50명 정도의 상근팀으로 구성되며, 한 팀체제를 통해 평균 6~12개월의 활동이 이루어지고 있다. 총합합리화는 '94년 8월 현재 금성내 28개 사업장에 적용되었거나 진행 중에 있으며, 초기의 도입단계에서 점차 금성생산기술연구소에서 연구개발한 기술들이 적용된 새로운 프로세스로 Version Up 되어 왔다. 금성내 동시공학 활동은 '91년 총합합리화 체제를 개발한 이래 '92년 11개 사업장에 적용하였으며, '93년에는 12개 사업장에 확대 적용하였고, '94년에는 전사적으로 Version Up (V21) 활동을 수행중이다. [표 1]은 프로젝트가 완료된 24개 사업부의 추진 성과이다.

총합합리화의 추진으로 수익성개선(평균 11%)과 히트상품 실현이라는 가시적인 경영성과를 실현함은 물론 <그림 9>의 분석결과에서 나타나고 있는 것처럼 고객만족도((개선건수/요구건수)X100%) 평균 51% 증가, 부품수 평균 17% 삭감, 재료비 평균 8.7% 삭감, 공수 평균 33% 삭감, 잠재불량 평균 55% 삭감, 개발

〈표 1〉 종합합리화 추진 성과 (종합합리화 이전 대비 개선 비율 %)

대상 사업부	기간	재료비	공수	부품수	수익률	고객 만족도	대상 사업부	기간	재료비	공수	부품수	수익률	고객 만족도
A사	92. 1-92.12	4.3	32.0	21.0	9.0	65.6	M사	93. 2-93. 7	4.0	20.0	20.0	5.0	-
B사	93. 1-93. 9	5.1	36.0	6.9	5.3	56.0	N사	93. 8-94. 1	8.7	32.7	17.2	10.8	50.9
C사	93. 7-94. 1	5.1	20.0	5.7	4.7	32.5	O사	93. 4-93. 8	12.1	10.2	14.5	5.4	-
D사	92. 3-92. 7	4.4	30.0	15.9	8.2	88.9	P사	93. 4-93. 8	15.9	43.4	14.5	21.5	78.0
E사	92. 3-92. 7	-0.4	36.0	7.5	3.7	71.7	Q사	91. 8-91.11	7.7	52.0	28.6	8.7	53.3
F사	92. 3-92.12	2.3	4.4	6.9	1.5	15.0	R사	92. 5-92. 7	9.3	17.0	21.0	11.9	30.8
G사	93. 5-93.11	7.7	32.3	30.0	9.9	60.0	S사	92. 5-92. 7	19.0	56.0	21.0	21.0	50.0
H사	92.10-93. 5	4.3	27.0	4.0	8.1	78.8	T사	92. 8-93. 2	8.0	30.0	10.0	14.0	69.2
I사	92. 7-93. 1	20.5	66.4	37.4	26.7	-	U사	93. 4-93. 9	13.0	30.0	13.0	8.5	69.2
J사	92. 7-93. 1	8.1	30.0	19.0	8.2	52.0	V사	93. 3-93. 8	10.0	30.0	10.0	5.0	-
K사	93.11-94. 3	7.0	30.0	10.0	4.5	-	W사	92. 3-93. 3	15.9	41.9	23.7	15.7	64.3
L사	93. 1-93. 7	1.3	25.6	-	3.5	-	X사	93. 4-93. 9	20.0	30.0	-	-	-



〈그림 9〉 종합합리화 개선효과

기간 평균 33% 단축 등의 획기적인 성과를 가져오고 있다.

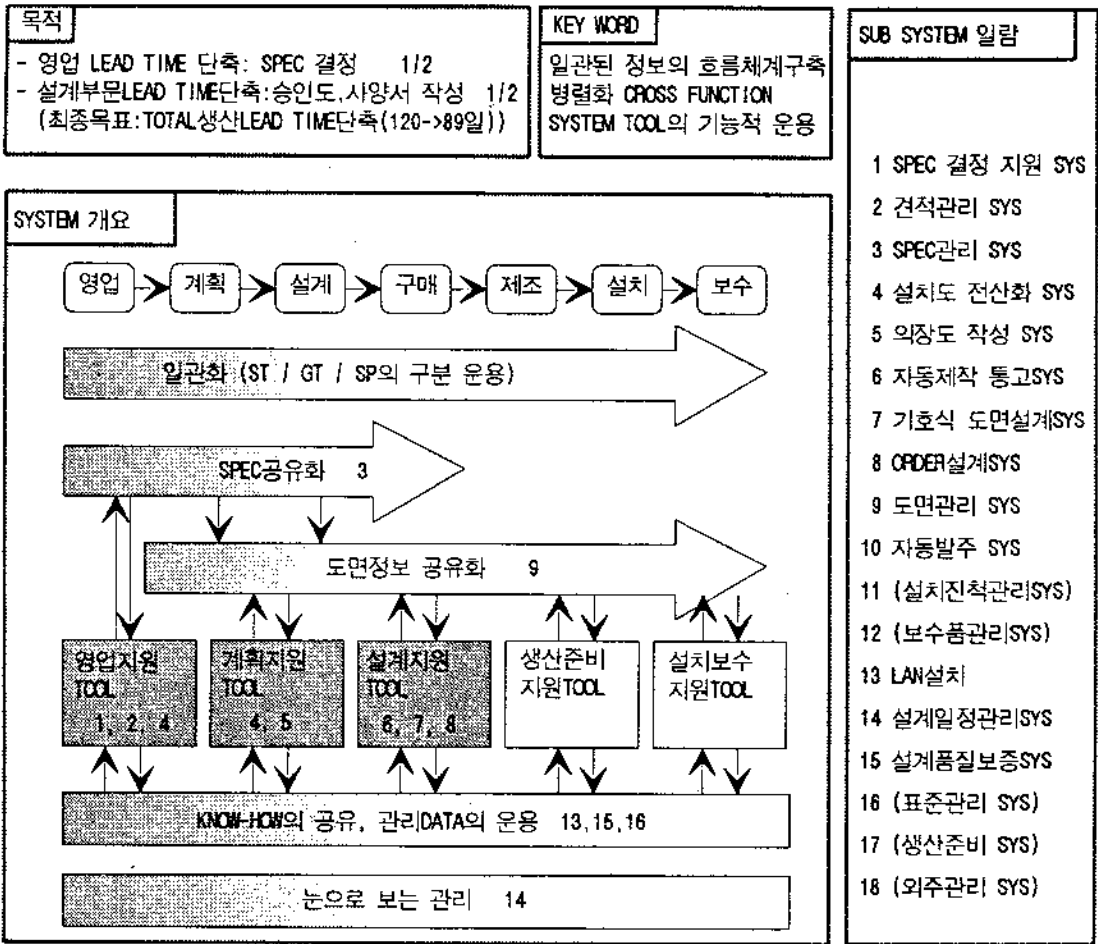
또한 고객의 Needs에 대응하면서 제품개발기간을 단축하기 위한 개발 각 단계 또는 단계간을 이어주는 시스템들이 요구되고 있으며, 금성생산기술연구소에서는 상품기획에서부터 양산까지 일관된 시스템구축을 위해 지속적인 연구·개발을 집중하고 있다. 〈그림 10〉은 금성내 Y사를 대상으로 구축한 동시공학지원시스템의 구축사례이다.

Y(사)의 L제품은 기능, 성능, 건물용도, 의장이 복합된 프로젝트형 개발 수주 제품으로 개발사이클은 3~5년으로 짧은 반면, 제품수명은 15년~20년으로 길며, 제조면에서 보면 종류가 많은 제품이다. 제품의 종류는 크게 표준/준표준/비표준으로 분류할 수 있

며, 건물의 고층화, 고급화의 추세에 따라 특수 비표준의 설계가 증가 추세에 있었다. 이러한 비표준 설계에 대한 고객의 Needs를 만족시키기 위해서는 고도의 Engineering 기술이 필요한 것으로 파악되었다. 최근에 이르러 국내시장의 성장이 둔화됨에 따라 Y사는 매출목표 달성, 그리고 해외시장 진출에 있어서 Vision과의 Gap이 점차 커져가고 있었다. 기술력 면에서는 국내업체 대비 경쟁우위를 유지하고 있었으나, 해외 선진사와는 크게 격차가 벌어져 있었다. 또한 고객 Needs는 점차 다양화되고 있는 추세에서 자사의 대응력은 매우 부족한 상태였다.

Y(사)는 이와 같은 환경분석을 통하여 도출된 문제점을 극복하고, Vision을 달성하기 위하여 “고객 Needs를 만족시키기 위한 Concurrent Engineering System 구축”을 테마로 한 변혁 Program을 작성하였다. 변혁 Program의 활동 Point는 설계부문을 중심으로 한 ①영업지원 ②설계효율화 ③설계관리력 향상을 주재임원, 사업부장, 공장장 및 관련부서의 부서장으로 구성된 Steering Committee를 중심으로 하여 사업부총 4명, 금성생산기술연구소 3명으로 동시공학추진팀을 구성하였다. 추진목표는 ①설계 Lead Time 50% 단축, ②설계효율 50% 향상을 설정하였다.

동시공학추진팀은 1993년 1월부터 11월까지 고객



(그림 10) 동시공학지원시스템 구축사례

Needs 분석, 업무분석을 통하여 도출한 준표준에 대한 설계방법 개선, 영업 기술지원 Tool의 개발, 기술 정보의 공유화, 비표준에 대한 영업/설계에서의 Know-How 축적, 관리방법의 개혁을 중심과제로 선정, 이를 달성하기 위하여 업무 부문별로 18개의 subsystems로 나누어 개발하였다. 완료시점에서 산정된 결과로는 준표준의 경우 설계 Lead Time이 평균 61일에서 27일로 단축되는 등 당초의 정량적인 목표를 달성하였으며, 정성적으로도 정보흐름의 일관화, 단납기 대응체계, 설계단순작업 배제, 눈으로 보는 관리체제의 전환 등 큰 성과를 달성하였고 경상이익에 대한 기여도도 높은 것으로 산출되었다.

### 5. 결론

동시공학은 다양화, 고품질화, 신속화, 정보화 등의 용어로 특징지을 수 있는 최근 기업 환경의 변화추세에 적극적으로 대응하기 위한 것으로 차세대 전략생산방안이라 할 수 있다. 이에 대한 정의, 개념, 접근방법을 알아 보았으며, 동시공학지원시스템의 요건과 한 가지 구조를 살펴보았다. 그리고 동시공학을 성공적으로 적용한 기업체 사례를 소개하였다. 동시공학의 효과는 제품개발기간 단축, 품질개선, 생산성향상에 따른 비용절감의 세 분야에서 뚜렷이 나타난다. 동시공학에 대한 연구가 미국, 일본 등에서 매우 활발히 진

행되고 또 현장에서 실제 이용되고 있으나, 이들의 결과를 우리 나라에 적용하기 위해서는 정보처리시스템 같은 각종 인프라구조, 조직 문화, 제품개발 프로세스 등에서의 차이를 감안하여 한국화하는 것이 앞으로 해결해야 할 중요한 과제이다.

### 【참고문헌】

- [1] 금성생산기술연구소, Concurrent Engineering, 금성생산기술연구소 세미나 자료, 1994.
- [2] 양재동, "객체-지향 데이터베이스 시스템", 전북대 전자계산학과 Technical Paper, 1994.
- [3] 이수홍, "동시공학 설계 생산 시스템," 한국정밀공학회지, 제10권, 제3호, pp. 5-20, 1993.
- [4] 정상우, 제품설계에 있어서 Concurrent Engineering 활용 방안, 전남대 산학협동세미나 자료, 1993.
- [5] 최인준, 도남철, "CIM에서의 객체지향적 DB응용(I)," CAD/CAM, pp. 283-293, 1993.
- [6] Bianchi J. J. et al., "A Literature Review DFA/DFM", Internal Report of Integrated Manufacturing Systems Engineering Institute, North Carolina State U., Raleigh, NC, 1990.
- [7] Boothroyd, G. and Dewhurst, P., Design for Assembly - A Designer's Handbook, U. of Massachusetts at Amherst, 1983.
- [8] Colquhoun, G. J. et al., "A State of the Art Review of IDEF0", Int. J. of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, No 4., pp. 252-264, 1993.
- [9] Gorman, M. C., "Ergonomics in Concurrent Engineering", Gateway, 1(3), The Crew System Ergonomics Information Analysis Center, Ohio, pp. 1-10, Summer 1990.
- [10] Hauser J. R. and Clausing D., "The House of Quality", Harvard Business Review, pp. 63-73, May-Jun. 1988.
- [11] Kim, Y., An Approach to Large-Scale Concurrent Engineering Systems, Ph.D. Dissertation, Dept. of IE, North Carolina State U., Raleigh, NC, 1993.
- [12] Kim, Y. and O'Grady, P., "A Methodology for Analyzing Large-Scale Concurrent Engineering Systems", Int. J. of Production Research, To appear soon.
- [13] Kimura, F. et al., "Variational Geometry Based on Logical Constraints and its Applications to Product Modeling", Annals of the CIRP, Vol. 36, pp. 65-68, 1/1988.
- [14] Martin-Vega, L. A., "Design and Manufacturing: An NSF Perspective", IIE Transactions, Vol. 24, No. 3, pp. 98 - 110, Jul. 1992.
- [15] Mittal, S. and Araya, A., "A Knowledge-Based Framework for Design", P. of Fifth National Conf. on AI, 1 (Eng.), Philadelphia, PA, pp. 856-865, Aug. 1986.
- [16] Navinchandra, D. and Rinderle, J. R., "Solution Planning for Heterogeneous Constraints in a Concurrent Engineering Environment", P. of The Second National Sym. on Concurrent Engineering, Morgantown, WV, pp. 737-750, 1991.
- [17] NSF, "Research Priorities for Proposed NSF Strategic Manufacturing Initiative", Report of a NSF Workshop, NSF, Washington, D. C., 1987.
- [18] O'Grady, P., Kim, Y., and Young, R., "A Hierarchical Approach to Concurrent Engineering Systems", Int. J. of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 7, No 3., pp. 152-162, 1994.
- [19] Owen, J., STEP An Introduction, Information Geometers Ltd., 1993.
- [20] Shina, S. G., Concurrent Engineering and Design for Manufacture of Electronics Product, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [21] Sriram, D. et al., "Knowledge-Based System Applications in Engineering Design: Research at MIT", AI Magazine, pp. 79-96, Fall 1989.
- [22] Subramanyam, S. and Lu, S. C.-Y., "Computer-Aided Simultaneous Engineering for Components Manufactured in Small and Medium Lot-Size", Concurrent Product and Process Design: ASME Winter Annual Meeting, PED-Vol. 36, pp.

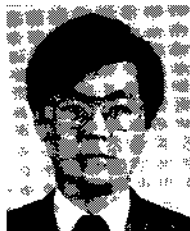
175-184, Dec. 1989.

- [23] Suh, H., *Shape Feature Generation for Concurrent Engineering Environment*, Ph.D. Dissertation, West Virginia U., WV, 1991.
- [24] Swift, K., *Knowledge Based Design for Manufacturing*, Prentice-Hall, NJ, 1987.
- [25] Warnecke, H. J. and Babler, R., "Design for Assembly - Part of Design Process", *Annals of the CIRP*, Vol. 37, pp. 1-4, 1/1988.
- [26] Westerberg, A. et al., "Applications of AI in Design Research at Carnegie Mellon University's EDRC", *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 110-124, 1990.
- [27] Whitney, D. E., "Manufacturing by Design", *Harvard Business Review*, pp. 83-91, Jul.-Aug. 1988.
- [28] Young, R. E., Greef, A., and O'Grady, P., "An Artificial Intelligence-Based Constraint Network System for Concurrent Engineering", *Int. J. of Production Research*, Vol. 30, No. 7, pp. 1715-1735, 1992.
- [29] Zorowski, C. F., "PDM - A Product Assemblability Merit Analysis Tool", *Design Engineering Technical Conference*, Columbus, Ohio, Oct. 1986.



### 방인홍

1979.2 서울 산업대학교 기계공학과 졸업  
 1992.8 아주대학교 산업대학원 산업공학과 졸업  
 1994.9~현재 아주대학교 대학원 산업공학과 박사과정  
 1978.8 (주) 금성사 입사  
 1986.12 同社 물류관리부 물류과장  
 1994.9~현재 同社 생산기술연구소 제1연구실장  
 력키금성그룹  
 Management Skill 지도,  
 평가 위원



### 김영호

서울대학교 산업공학과에서 학사 및 석사, 그리고 미국 노쓰캐롤라이나 주립대 산업공학과에서 박사학위를 취득하였으며, 현재 전북대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. Journal of Design and Manufacturing의 Guest Editor로 활동한 바 있다. 주요 관심분야는 동시공학, Constraint Satisfaction, 생산정보시스템, Feature 기법 및 STEP 활용방안 등이며, 현재 동시공학을 위한 A Constraint Processing System의 개발을 시도하고 있다.



### 유건희

1965. 2 한양대학교 기계공학과 졸업  
 1988. 3 금성생산기술연구소장 전무  
 1993.12 금성생산기술연구소장 부사장