

설계통합 전문분야로서의 형상설계

Configuration Design As a Discipline of Design Integration

김 구*
Goo Kim

ABSTRACT

In this paper configuration design is viewed as an engineering discipline that plays a key role in the design integration process at early-stage development of a complex and large-scale product. Taking as an instance an aircraft development program that Korean engineers had experienced in Lockheed-Martin company, the process of early-stage configuration design is recapitulated and then a role model of effective design integration activities is presented.

1. 머리말

항공기나 미사일, 로켓과 같은 복잡한 공학제품의 설계를 개발하는 일은 기본적으로 다양한 분야에서 전문성을 가진 많은 엔지니어들의 참여를 요구하는 다중분야적 과제이다. 다중분야적 과제의 특징은 각 분야의 전문가들의 최선의 노력만으로 과제의 목표를 성공적으로 달성할 수 없다는 것이다. 각 전문분야에서 제시하는 최선의 설계방안들은 상충하는 것이 상례이어서, 가능한 한 많은 타협들이 상승효과적으로 이루어지도록 통합하는 과정이 성공적인 설계의 관건이 된다.

다양한 분야의 지식의 결집을 통하여 이루어지는 설계 개발은 그 자체가 하나의 전문분야임을 인식하

는 것이 중요하다. D. P. Raymer는 항공기 개념설계에 관한 그의 저서^[1]에서 “항공기 설계는 공기역학, 구조, 제어, 추진 등과 같은 해석적 분야와는 구분되는 항공공학의 별개 분야이다.” 라고 말하고 있다. 설계의 전문성은, 많은 현대무기들이 그렇듯이, 만들고자 하는 제품의 복잡성이나 기술 다양성, 성능이나 비용 수준이 높을수록 더욱 중요해진다. 이런 제품들은 상위레벨의 설계개념 정립에 많은 비교분석연구(tradeoff study)가 요구되며 설계 참여 전문가들의 수도 크게 증가한다. 기술이나 일정, 비용, 인력 면에서 대규모인 개발사업에서는 설계의 효율성이 크게 저하되기 쉽고 그만큼 경쟁력 있는 최적 설계 개발도 어려워진다. 최근 급속히 발전하는 컴퓨터 중심의 통합환경 구축이 설계 효율성 향상에 크게 기여하고 있는 것은 사실이지만, 설계통합 그룹을 중심으로 한 창의성 결집과 다중분야간 유기적 협력 관계의 유지

* 국방과학연구소

는 여전히 성공적인 설계의 결정적 요소로 작용하고 있다.

설계 개발에서 특히 중요한 시기는 초기 단계이다. 초기단계 설계는 전체 개발과정의 지렛대와 같아서^[2] 비교적 짧은 기간에 적은 인력과 비용이 투자되지만 그 결과는 제품의 중대한 특징적 요소들을 대부분 결정짓는다. 형상설계는 바로 이런 초기단계 설계를 특징짓는 용어로서, 개념 및 기본설계 시에 상세설계의 근간이 되는 제품의 기본형상(baseline configuration)을 확정하는 활동을 가리킨다. 형상설계를 통하여 제품의 전체적 기하 형태와 크기, 중량, 주요 시스템의 구성과 배열 등 주요 형상 데이터가 산출되고, 이를 기준으로 하여 제품의 성능과 가격 수준, 개발 및 운용상의 특징들이 예측된다.

본 논문에서는 설계개발의 결정적 중요성을 차지하는 초기 설계시의 형상 창출 과정을 살펴보고, 설계통합 전문분야로서의 형상설계의 역할 모델을 제시하고자 한다. 본 연구는 국방과학연구소가 92년부터 95년까지 록히드-마틴 항공사와 공동 수행한 한국형 고등훈련기(KTX-2) 탐색개발사업 경험을 바탕으로 한 것이다. 고등훈련기는 현재 T-50이란 이름으로 체계개발 단계에 있다.

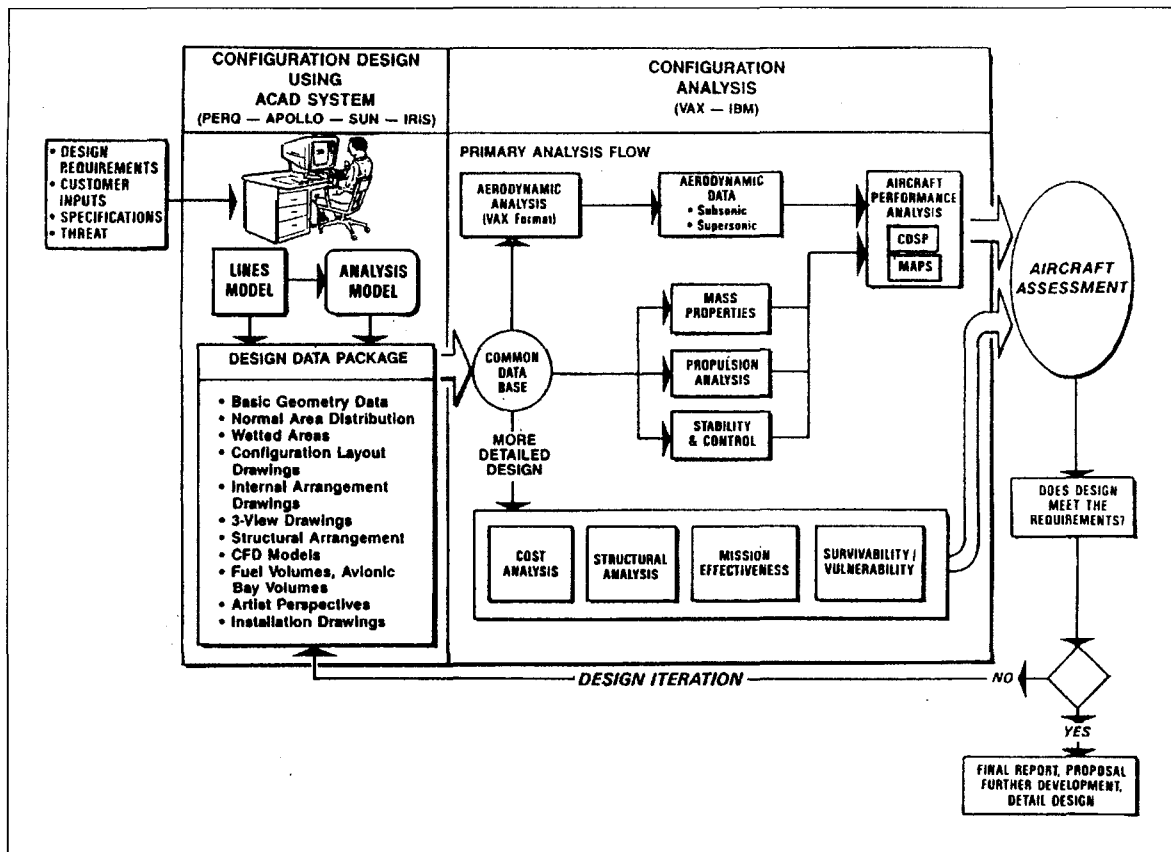
2. 형상설계의 통합적 속성

록히드 항공사는 자체의 설계훈련 자료^[3]에서 형상설계를 “기하 데이터와 시스템 통합 데이터를 얻기 위해 통합된 항공기 설계를 생성하는 작업”이라고 정의하고 있다. 통합된 설계 생성은 설계팀 전체의 활동 목표이지만 직접적인 생성 작업은 ‘형상설계’라는 특정 전문가 그룹에 의해 이루어진다. 형상설계 그룹의

일이 간혹 단순한 제도(製圖) 또는 CAD 작업 정도로 인식되는 경우를 볼 수 있으나 이것은 설계의 통합과정에 대한 이해 부족 때문인 것으로 판단된다. 체계공학 과정이 체계공학자 그룹에 의해 주도되듯이 설계통합 과정에도 분명한 주체가 필요하다. 그 주체는 제한된 관심 영역 속에서 활동하는 어느 한 전문분야가 담당할 수 있는 것이 아니다^[4].

설계통합 과정의 핵심 역할자는 물론 설계책임자(chief engineer)이다. 설계책임자는 스포츠의 레프리처럼 모든 분야의 활동을 조정하면서 주요 사안에 대하여 또는 주요 시점에서 설계결정을 지어주는 최고의 권한자이다. 그의 역할은 결정적 중요성을 가지기 때문에 그는 설계 전반에 대한 폭넓은 이해력과 경험, 그리고 이를 바탕으로 한 기술적 리더십을 갖추지 않으면 안 된다^[4]. 그러나 아무리 유능한 설계책임자라 하더라도 “다양한 분야에서 제기되는 방대한 설계입력 자료를 종합·소화하여 요건(requirements)에 부합하는 신뢰할 만한 설계방안을 도출하는 전체 과정”을 혼자 힘으로 담당할 수는 없다. 여기에 전문분야로서의 형상설계 그룹의 역할이 있으며 이 역할을 통하여 형상설계 그룹은 통합된 설계 데이터를 산출해낸다^[5]. 그림 1은 형상설계 그룹이 통합자로서 여러 해석분야들과 어떻게 연계하여 완성된 설계를 만들어 가는지를 개념적으로 보여주고 있다.

이 그림에서 우선 형상설계 그룹은 설계의 현시점에서 알려진 모든 데이터와 설계자적 경험을 바탕으로, 주어진 요건들을 만족시키기 위한 전체적 제품 형상을 기하학적으로 나타내야 한다. 이로써 산출된 기하 및 시스템 통합 데이터는 전체 설계팀의 공통 데이터베이스로 사용되며 모든 분야들이 이 데이터를 기초로 관심 영역의 세부설계 및 특성 해석을 수행하게 된다. 각 분야의 해석 결과로부터 종합적인 제품



[그림 1] 형상설계 그룹의 통합적 기능

성능이 산출되면 설계책임자를 중심으로 한 종합적 설계평가가 이루어지며 이를 통하여 요건 충족 및 MoM(Measure-of-Merit) 평가에 의거한 설계개선 방향이 결정된다. 전체적인 설계 과정은 반복 수행되면서 점차 신뢰성이 향상된 설계 및 해석 결과를 산출하고 목표 수준을 달성해 나간다.

한편, 복잡한 제품 설계의 통합은 하나의 통합그룹에 의해 한꺼번에 이루어지기보다는 세부수준으로부터 전체수준으로 이르기까지 단계적 통합이라는 관점으로 보는 것이 타당하다. 이 경우 형상설계는 물론 전체적 수준의 통합 작업이다. 이것은 모든 부분적 통합작업이 형상설계로 하여금 완성된 제품 자체의 특

성 및 성능, 비용 또는 여타 목표를 가장 적합하게 만족시키는 설계를 달성할 수 있도록 진행되지 않으면 안 된다는 것을 의미한다^[6].

3. 체계공학 그룹과의 기능적 관계

설계팀 내에는 각 분야의 설계그룹들과 함께 개발 프로그램의 체계공학적 관리의 주체가 되는 체계공학 그룹이 존재한다. 설계개발도 전체적 체계공학 프로세스 속에서 이루어지지만 일반적으로 체계공학 그룹이 앞 절에 기술한 설계통합 과정을 직접적으로 주도하

지는 않는다^[5]. 설계통합은 설계에 참여하는 다양한 전문공학분야들에 대한 이해와 제품 그 자체의 공학적 지식을 바탕으로 하므로 체계공학과는 구분되는 전문영역으로 인식하는 것이 중요하다. 설계 과정에서 체계공학 그룹은 요건 정의로 대표되는 설계문제의 정의와 설계 결과에 대한 평가라는 결정적 역할을 해야 한다. 이것은 그림 1의 설계과정에서 대략 좌측의 입력과 우측의 출력 부분에 해당된다고 할 수 있다. 제품의 모든 수준에서의 요건이 한꺼번에 정의되지 않고 설계의 진척과 함께 구체화되는 것이 상례이므로 체계공학그룹은 설계의 전 과정에서 형상설계그룹과 불가분의 긴밀성 관계 유지가 요구된다. 두 그룹의 구분된 역할과 연계성에 대하여는 J. N. Martin의 체계공학 프로세스 정의^[7]에서도 내포되어 있다고 생각된다.

4. 형상 데이터의 산출 과정

통합된 항공기 형상 데이터를 산출하기 위해 형상 설계 그룹이 실제로 수행하는 일련의 작업 과정을 다음에서 정리해 보았다[3]. 각 작업은 순차적이기 보다는 필요에 따라 반복 수행되는 것이 일반적이다.

(1) 요건 파악 : 설계작업은 관련 요건들을 파악함으로써 시작된다. 항공기의 목적(훈련용, 전술용, 수송용 등), 임무수행 방법(임무 프로파일), 성능, 비용 등에 대한 요구와 정비성(RM&S), 제작성, 적용 기술 등과 관련된 주요 제약사항들이 여기에 포함된다. 요건 파악에는 항목들의 우선순위와 제약사항의 중대성에 대한 분명한 이해가 반드시 따라야 한다. 이것은 비교분석연구의 결과 도출에 매우 중요한 근거가 되

기 때문이다.

(2) 관련 데이터 수집 : 설계 착수를 위해서는 각 기술분야로부터 기초 데이터가 필요하다. 설계 초기에는 필요한 모든 데이터를 얻을 수 없기 때문에 기존의 유사 항공기에 대한 사례조사나 경험적 데이터를 통하여 추정치를 사용하는 경우가 많다. 설계 데이터는 또한 관련된 상용 또는 군사 기술 규격서에서도 얻을 수 있다.

(3) 레이아웃(layout) 생성 : 레이아웃의 생성은 수집된 설계 데이터를 사용하여 항공기 형상의 주요 부분을 2차원적으로 구성하는 작업을 말한다. 초기에는 공기역학 면이나 동체선, 조종실, 엔진, 흡입구 및 노즐, 착륙장치, 주요 장비 및 구조물 배열 등 매우 큰 개념의 설계가 주요 관심사가 된다. 설계진척에 따라 점차 상세한 부분이 추가되고 각 부분의 크기와 위치도 조정된다. 레이아웃 생성의 주 목적은 설계통합 방안을 도출함에 있다. 도출된 방안들에 대한 비교분석을 통해 현 시점에서의 최선의 방향, 즉 설계기본방침(design groundrule)이 결정된다.

(4) 컨투어(contour) 생성 : 선 개발(lines development)이라고도 불리는 이 작업은 생성된 레이아웃과 설계기본방침을 바탕으로 항공기의 동체와 날개, 공기유동관, 낫셀, 노즐 등 항공기의 모든 주요 표면을 3차원으로 정의하는 것이다. 이 일은 대부분 CAD 도구를 이용한 컴퓨터 집중적인 작업이다. 동시공학적 개념으로 잘 구축된 CAD 환경의 보유와 설계자들의 능숙한 CAD 기술은 이 과정의 효율성을 높이고, 통합 시 발생하는 많은 문제들을 조기 포착하고 해결책을 찾는 데 큰 도움을 준다.

(5) 도면작성 준비 : 항공기의 3차원 컨투어 생성이 완료되면 이로부터 항공기의 모든 관심부분을 원하는 각도에서 그려볼 수가 있다. 설계연구에서 가장 많이 활용되는 대표적인 도면 형태는 전체 배열도(general arrangement drawing ; 3-view drawing)와 내부 배열도(internal arrangement drawing; inboard profile)이다. 이 도면들은 설계 전반에 관한 대부분의 주요 사항을 표현해 준다. 항공기 컨투어는 공력이나 구조시험을 위한 모델 및 시제작 도면 작성에도 물론 사용된다.

(6) 기하자료 산출 : 형상도면이 완성되면 각 해석 분야에 필요한 자료를 요구하는 형식에 따라 산출할 수 있다. 공통 자료 및 반복 사용 자료들은 가급적 일정한 형식으로 DB화함으로써 업무 효율을 높일 수 있다.

(7) 상충부분 및 잠재적 개선필요 부분 식별 : 기하자료 산출로 형상설계 작업이 끝나지 않는다. 형상설계자들은 위의 과정에서 대개 제일 먼저 설계상의 상충점이나 개선 필요 부분을 찾게 된다. 발견되는 대부분의 문제점들은 관련 분야 엔지니어들과 직접 검토함으로써 해결되지만, 여러 분야가 관련되거나 큰 설계 변경의 잠재요인이 될 경우에 주의를 기울여야 한다. 후자의 문제들은 초기에 발견하고 제기하는 것이 해결을 용이하게 하고 설계 성숙 가속화에 큰 도움을 준다.

(8) 문서화 유지(documentation) : 반복적인 설계 과정에서 주요 시점마다 중간 결과를 종합하고 기술 문서로 유지하는 일이 매우 중요하다. 설계 종합적 측면에서 반드시 유지해야 할 가장 중요한 문서는 형

상기술서(configuration description document)이다. 이 문서는 통합된 형상 기술 뿐 아니라 각 분야에서 산출된 모든 주요 설계/해석 결과를 포괄한다. 비교 분석연구 결과와 형상변경 기술 문서 등의 유지도 중요하다.

5. 형상설계 그룹의 통합활동 방식

앞 절에 서술한 통합된 형상 데이터 산출 과정의 능률성은 통합자로서 형상설계자들의 활동 방식에 크게 좌우된다. 효과적인 설계통합을 위해 형상설계자들에게 요구되는 주요 활동방식을 아래에서 제시하고자 한다.

(1) 설계계획 : 모든 팀 활동이 그렇듯이 설계통합을 위해서도 가장 먼저 필요한 것이 계획수립이다. 설계 계획은 주어진 개발 단계에서 요구되는 수준의 설계 성숙도를 달성하기 위한 것으로, 대개 수차례의 반복설계 사이클로 나타난다. 각 사이클은 주어진 설계 여건과, 시작과 종료 시에 예상되는 입력 및 출력 자료를 고려하여 적절한 목표와 기간으로 계획되어야 한다. 한 사이클 내에서도 기능분야들 간에 주고받아야 할 주요 데이터와 시점을 표시함으로써 원활한 업무 연계를 도울 수 있다. 설계계획에는 기본 사이클 계획 외에도 주요 해석 및 시험 계획과 비교분석연구 계획(trade study plan)을 포함하여 상호 연계가 이루어지도록 해야 한다.

개념설계 시에는 큰 형상개념(family)들의 비교분석연구가 흔히 요구되므로 하나의 설계 사이클이 둘 이상의 큰 막대기들로 묶여 나타날 수 있다. 그러나 큰 개념이 결정된 이후의 기본설계에서는 기본형상

(baseline) 흐름을 나타내는 하나의 큰 줄기에 비교적 작은 활동들이 가지처럼 연결되는 형태를 띠는 것이다. 이 때 한 사이클의 끝은 설계종합평가에 의한 기본형상의 최산화 시점을 의미한다. 기본형상은 반복설계 중 모든 비교분석연구나 개선연구의 기준이 된다. 설계 계획은 일회적으로 완성되는 것이 아니라 설계 진척과 상황에 따라 현실을 반영하는 살아있는 계획으로 유지되어야 한다.

(2) 기본설계활동 조정 : 기본형상의 해석과 설계 개선을 위한 각 분야의 활동을 지원하고 조정하는 역할로서, 형상설계자는 항상 각 분야의 진행현황을 파악하면서 분야간에 요구되는 데이터 교환이 적기에 이루어지도록 협조해야 한다. 특히 새로 제기되는 문제나 현안을 이해하고 이에 대한 접근 방법을 초기부터 모색해 나가야 한다.

(3) 다중분야적 비교분석연구 조정 : 요건 불만족이나 시스템 통합 상충 문제를 해결함에 있어 여러 분야의 관심이 관련되는 주요 설계변경이 요구될 때 설계통합자에 의한 적절한 대안이나 접근방안 제시가 효과적인 설계에 중요한 역할을 한다. 형상설계자는 적절한 범위의 비교분석연구를 계획하고, 이에 따른 관련 분야들의 활동을 지원하며, 그 결과에 의거하여 최선의 설계 선택이 이루어지도록 설계책임자를 도와야 한다.

(4) 형상 최적화 연구 : 요건의 문제가 아니라도 전체적 성능이나 시스템 통합 면에서 최적화하기 위한 설계개선 노력은 지속되어야 한다. 형상설계 그룹이 관심을 가지는 대표적인 최적화 대상으로는 항공기 면적분포(area ruling), 날개위치, 구조/장비 배열,

엔진 공기흡입구 형상, 연료공간, 간섭 외형선, 외부돌출물 등을 들 수 있다. 설계 마무리 단계에서 가해지는 미세 형상조정 작업(tweaking)도 이 활동의 일부로 볼 수 있다.

(5) 분야간의 기능적 연계성 유지 : 분야간의 유기적 협력관계 유지는 균형 잡힌 설계와 효과적인 설계 발전에 필수불가결한 요소이다. 흔히 개별 분야의 엔지니어들은 제자리에서 자기에게 주어진 일들을 제한적인 관점으로 수행하려는 경향이 있기 때문에, 설계 현안과 현황에 대한 공동이해와 상호간의 활동을 밀접하게 연계시키기 위한 통합자들의 '몰타르적인 역할'이 매우 중요하다^[5]. 이 역할은 엔지니어들 간의 수평적 의사소통 분위기 조성에도 큰 도움을 줄 수 있다. 엔지니어들이 설계책임자 한 사람에게만 의존하려는 수직적인 분위기 속에서는 모든 과정이 경직되고 많은 문제와 비효율성을 야기하게 된다.

(6) 설계책임자 조력 : 이 활동은 제2절에서 언급한 바와 같이 설계책임자의 기술적 관리와 설계 결정을 돕기 위한 것이다. 형상설계자는 주요 설계현안의 파악/분석/예측, 설계통합 옵션 제시, 설계기본방침 제안 등을 통해 설계책임자의 종합적 관리를 지원할 수 있다.

(7) 형상 발전과정 관리 : 개념 및 기본설계 과정에서는 많은 종류의 기본형상과 파생형상들이 다루어진다. 형상설계자는 각 형상의 특징과 제안된 배경, 변경 사유(rationale), 연구일정과 과정, 연구결과에 반영 등을 일목요연하게 정리하고 이를 설계팀 내에서 공유하게 함으로써 설계 흐름(history)에 대한 모든 참여자들의 이해를 도울 수 있다. 이러한 자료는 추구하

는 설계의 방향을 보여줄 뿐 아니라 과거에 다루어진 유사한 사안들이 불필요하게 재론되는 것을 방지함으로써 효율적인 설계진행에 기여하게 된다.

6. 맺음말

제품의 기본형상 결정을 위한 초기단계 설계의 중요성은 잘 알려져 있지만 창의성 있는 초기 개념 개발과 구심력 있고 능률적인 초기 통합 활동을 위한 전문 기술그룹의 필요성과 역할에 대해서는 보편적인 인식이 부족하다고 판단된다. 즉흥적 필요에 따라 우발적으로 생긴 통합 그룹은 새로운 아이디어의 창출이 어렵고, 노하우의 부족으로 효과적인 통합 활동을 수행하기 어렵다. 초기 설계와 통합의 효율성은 대형 군사무기처럼 복잡하고 비용 규모가 큰 사업일수록 그 후속 과정에 막대한 영향을 주게 된다. 따라서 통합자의 역할 방식은 개인적인 성향의 문제가 아니라, 전문분야적인 관점에서 이를 연구하고 조직화하는 노력이 투입되어야 한다.

형상설계 전문그룹은 특정한 개발 프로그램을 수행하지 않을 동안에는 미래 제품의 개념을 연구하는 응용설계(advanced design) 그룹으로 조직상에 상존하는 것을 선진 항공사에서 찾아볼 수 있다. 이들은 내외부적으로 제기되는 미래 수요에 대하여 미래 기술의 관점에서 설계를 구상하는 첫 번째 그룹이다. 이런 역할로 인해, 응용설계자들이 개념 구상된 제품이 실제 프로그램화 될 때 기본설계 과정을 이끄는 초기설계 통합그룹으로 역할을 담당하는 것은 매우 자연스

러운 것이다. 이런 역할 개념은 매트릭스 조직 운영과 IPT(Integrated Product Team) 운영 방식과 잘 조화된다^[1].

참 고 문 헌

- [1] Daniel P. Raymer, Aircraft Design: A Conceptual Approach, third ed. pp.1~14, 1999.
- [2] B. D. Nelson, "Design, Parametric, and Trade-off Techniques for Supersonic Fighters", The Annual Aircraft Design Short Course, Dayton, Ohio, Jul. 1984.
- [3] Configuration Design Training Material(for KTX-2 Program), Lockheed Fortworth Company, Mar. 1993.
- [4] Leland M. Nicolai, "Introduction to Aircraft Design", The Annual Aircraft Design Short Course, Dayton, Ohio, Jul. 1984.
- [5] Disciplinary Description of Configuration Design, '95 탐색개발 종합보고서 Vol. IV Book 1 제1장, 국방과학연구소 ASDC-201-960246L, 1995년 12월.
- [6] Brian Kiger & Linda Carter, Private Notes for Configuration Design, Lockheed-Martin TAS, Aug. 1996.
- [7] James N. Martin, Systems Engineering Guide book: A Process for Developing Systems and Products, Chap.4, CRC Press, 1997.