

## 아키텍처 개념 기반의 기술개발 체계분석 : 항공기 개발을 중심으로

### An Analysis on Technology System of Aircraft Development Based on the Concept of Architecture

김봉균\*

기술의 복잡성이 증가하고 제품의 존속 수명주기가 불확실해지면서 기술개발자가 의도하는 바와는 관계없이 사업 영역과 기술기반의 변화하고 있다. 이러한 환경 속에서 산업 내 기술의 특성을 분석하는 이른바 산업기술분석 역할은 매우 중요하다. 그러나 그 범위가 매우 광범위하고 그 중 기술개발에 있어 관련된 산업기술분석의 프레임이 구체적으로 적용된 사례를 제한적이다. 따라서 다양한 산업을 지원하는 정부 기술개발 기획의 경우, 반도체에 적용되는 모듈러 기반 기술개발 틀과 성과분석이 항공기, 지능형 로봇과 같은 복합 시스템 산업에 그대로 적용해왔던 것이 현실이다. 이는 기술을 제품화함에 있어 필수적인 개발시스템의 기술적 속성이 산업기술 분석 방법론에 효과적으로 체화되지 못했기 때문이다. 본 연구는 시스템과 서브 부품으로 구성되는 제품설계 특성을 구조화한 제품 아키텍처 이론을 소개하고 이를 기술개발체계에 적용하는 실증적 연구를 수행한다. 실증적 분석을 위해 항공기 개발 전 과정을 분해하고 아키텍처 분석방법을 실제 적용하였다. 아키텍처는 대표적으로 모듈형(Module)과 인테그랄형(Integral)으로 구분한다. 실제로 한 가지의 제품 안에도 모듈형 부품과 인테그랄형 부품이 복합적으로 혼합되어 있는 경우가 많다. 또한, 제품을 어느 레벨까지 분해할 지에 따라 모듈화의 정도도 달라 질 수 있다. 본 연구는 아키텍처 중 Integral 속성의 정도를 파악하여 아키텍처 정도를 파악하였다. 측정 기준으로 첫째, 타 부품과의 기능적인 상호연관성과 둘째, 체계종합 설계와의 상호의존성 두 가지를 설정하였다. 이러한 두 가지 아키텍처 기준을 547개의 항공우주 부품 및 기술을 적용해 본 결과, 항공기 개발과정은 총 65%의 인테그랄 속성을 가지고 있으며 기술분야 별로 아키텍처 정도가 다르게 나타나고 있었다(전자 부품은 분야는 오히려 모듈형에 가까웠음). 비단 항공기 개발과정 뿐만 아니라 다른 산업, 제품에도 적용될 수 있는 틀을 마련함으로써, 기존 연구개발기획에서 산업기술 분석을 통한 체계적 기획으로 전환할 수 있는 새로운 대안을 제시한다. 결과적으로 산업기술의 특성과 구조를 반영한 기술개발 방법론으로 아키텍처 이론을 적용할 수 있는 단초를 마련했으며, 이것은 본 논문이 기대하는 바이기도 하다.

\* 김봉균, 한국산업기술재단 기술정책연구소 선임연구원, 02-6009-3112, kibon@kotef.or.kr

## 1. 서론

문제를 해석하는 방법에는 첫째 선택적 집중을 하는 방법이 있고 둘째는 큰 그림을 보고자 관점을 확장하는 것이 있다. 한정된 자원으로 실질적 효과를 명시적 확인코자 하는 한국적 문화에서는 주로 첫 번째 대안인 선택적 집중으로 문제를 해석하는 법이 선택된다. 그러나 기술 혁신 프로세스가 갈수록 복잡해지고 고도화 되면서 선택적 집중을 통해 문제를 해석하는 데는 분명한 한계가 있다. 기술 간 융합화와 산업의 붕괴가 가속화 될수록 기술에 대한 전체적 그림을 그리고 그 속에서 핵심 분야를 선택하여 집중적으로 해석해야 한다. 따라서 성공적 기술개발은 기술에 대한 산업분류의 명시적 한계를 극복하는 제품의 구성부품과 기술의 속성을 구조화한 효과적 기술획득 방안이 수립될 때 가능하다. 이러한 문제해석의 관점이 크게 영향을 미치는 곳은 고도화된 기술 분야, 기술학습이 제한적으로 이루어지는 분야일수록 강하다.

기술복합의 환경 속에서 산업 내 기술의 특성을 분석하는 이른바 산업기술분석의 역할은 매우 중요하다. 그러나 그 범위가 매우 광범위하고 특히 기술개발에 있어 관련된 산업기술 분석의 프레임은 극히 제한적으로 적용되어 왔다. 산업 내 기술의 특성을 분석하는 이른바 산업기술분석은 1980년대 경쟁우위 파악 등의 시장의 Value Chain을 통해 수행되어 왔다. 즉 시장중심적 관점에서 산업기술을 분석해 온 것이다. 그러나 기술이 복합되고 산업의 경계가 모호해지면서 기존의 시장중심적 산업기술분석은 그 한계가 드러나고 있다. 특히 다양한 산업을 지원하는 정부 기술개발 기획에 있어 많은 문제를 야기한다. 예를 들어, 반도체, 전자 소재에 적용되는 기술개발 틀과 성과분석이 항공기, 지능형 로봇, 의료기기와 같은 시스템 산업에 그대로 적용해왔다. 이러한 문제인식 속에서 산업기술분석은 관련 기술 간의 구조적 특성을 규명하는 기술분석 프레임을 요구하고 있다. 본 논문은 기술적 측면이 강조된 산업기술분석 방법론으로 아키텍처 개념을 제안한다.

## 2. 연구의 목적

산업 내 기술의 특성을 분석하는 이른바 산업분석의 범위는 매우 광범위하나 그 중 기술개발에 있어 관련 기술 간의 구조적 특성을 규명하는 분석 프레임이 구체적으로 적용되고 있지 못하였다. 예를 들어 정부 기술개발 기획에 있어 반도체에 적용되는 모듈러 기반 기술개발 틀을 항공기, 지능형 로봇과 같은 복합 시스템 산업에 적용해왔던 것이 현실이다.

즉 제품개발시 제품의 기술적 특성에 기인한 기술분업형태를 고려한 맞춤형 전략이 수립되지 못한채 범용적 개발전략이 전 산업에 적용되고 있는 것이다. 이는 기술을 제품화함에 있어 수반되는 개발시스템의 기술적 속성을 고려한 맞춤형 산업기술 분석 방법론이 효과적으로 적용되지 못해왔기 때문이다.

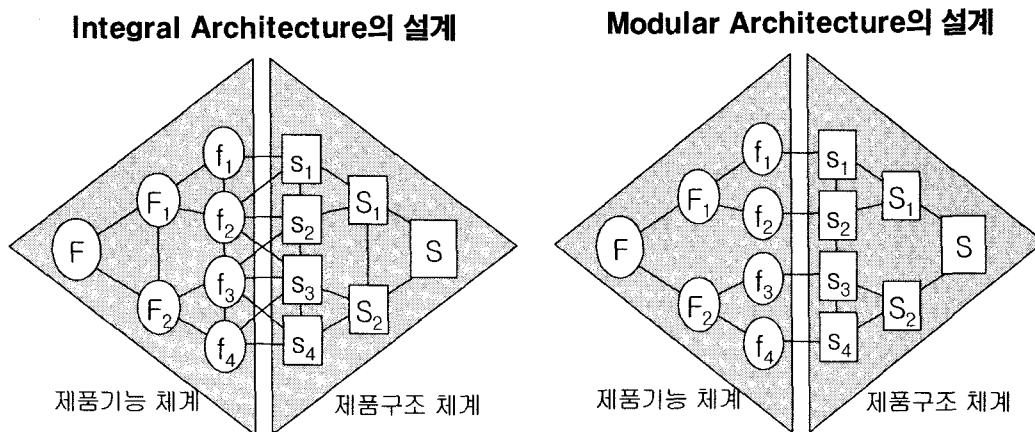
기술개발과정을 특성화 시키기 위해서는 부품의 특성과 관련 기술의 특성에 따라 제품설계의 특성을 구조화한 제품 아키텍처 개념을 도입할 필요가 있다. Architecture를 사전적으로 개념을 설명하면 패턴의 형상전개를 시스템적 관점에서 나타낸 것을 의미한다. MIT의 Ulrich(1995)는 이러한 아키텍처 개념을 항공기, 자동차 등의 제품화 과정에 적용하였다. Ulrich(1995)가 제시한 내부 설계사상적 제품 아키텍처 개념을 藤本隆宏[2001]는 일본 TOYOTA와 자동차 산업에 실증적으로 적용하여 산업 내 생산시스템을 아키텍처로

해석하였다. 본 연구는 藤本隆宏[2001]가 구축한 생산시스템의 아키텍처 개념을 기술 속성과 기술분업구조까지 확장하고 실질적 기술개발진행 체계에 적용을 시도하였다. 즉 생산중심자 관점에서 아키텍처를 기술개발자 관점으로 문제를 해석하여 제품 특성에 맞는 효과적 기술획득 방안을 제시할 것이다. 본 연구의 목적은 아키텍처 이론을 항공기 시스템에 실증적으로 적용한 결과를 바탕으로 다양한 산업, 제품에도 적용될 수 있는 산업기술분석의 틀로서 아키텍처를 소개하고 향후 연구의 단초를 제공한다.

### 3. 제품개발 아키텍처의 개념

기술의 고유한 특성을 고려하여 산업기술 분석을 하기 위해서는, 타 분야의 기술과 차별되는 제품의 생산방식이나 구조, 제품간의 상호연결 방식, 생산 주체간의 상호작용 등을 체계적으로 고려한 접근방안이 필요하다. 최근에 이러한 분석개념으로 각광받는 것이 바로 Architecture 개념이다. Architecture분석은 대상의 유형을 명확히 정의함으로써 복잡성을 관리하고 조직화하는 장점이 있다. 구체적으로 제품개발을 Architecture를 통해 분석함은, 「제품의 다양한 기능을 어떻게 정의하고 나열할 것이며, 정의된 기능을 어떻게 제품의 구성 부품에 배분할지, 또 거기서 필요로 하는 부품간의 인터페이스(interface)를 어떤 방식으로 할지에 관한 기본적 설계사상」을 제시하는 것을 의미한다. (Ulrich[1995]). 일찍이 미국의 MIT와 일본의 동경대학을 중심으로 자동차산업의 발전과정에 대해 아키텍처 이론을 활용하여 분석하고 효과적인 제품개발 전략을 도출했다. 특히 藤本隆宏[2001]은 아키텍처 이론을 통해 도요타 자동차의 경쟁력 확보전략을 개발, 공정, 기업간 연계의 3개 축으로 연구하였다.

<그림-1 제품의 모듈화(제품기능·구조의 복합Hierarchy)<sup>2)</sup>>



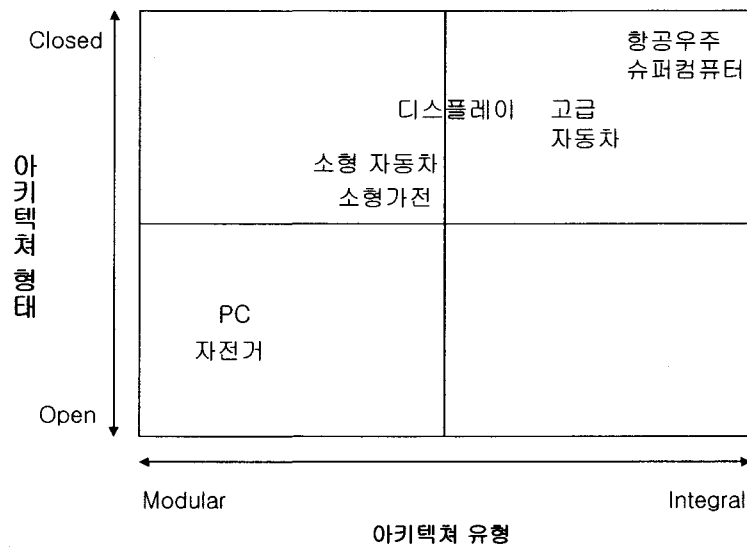
F: 제품 전체의 기능 S:제품 전체의 구조 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>: 제품의 서브 기능  
 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub>: 제품의 서브서브 기능 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>: 대 모듈 s<sub>1</sub> ~ s<sub>4</sub>: 소 모듈, —: 연결  
 도표의 간략화를 위해, F와S, 및 F<sub>1</sub> F<sub>2</sub> S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> 간의 연결은 생략했다.

2) 藤本隆宏(2001), ビジネス・アキテクチャ, 有斐閣.  
 - 좌측의 도표는, 이른바 Integral Architecture의 제품  
 · 제품기능(좌) 과 제품구조(우) 각각의 구성요소가 서로 많이 뒤얽혀 있기 때문에, 예를 들면 부품 S<sub>1</sub>의 설계자는, 다음의 요소를 고려할 필요가 있음  
 (1) 다른 부품과의 기능적 상호의존성 (s<sub>1</sub> ← f<sub>1</sub> ← s<sub>2</sub>, s<sub>1</sub> ← f<sub>2</sub> ← s<sub>2</sub> 등)  
 (2) 다른 부품과의 구조적인 상호의존성 (예를 들면, 부품간섭, s<sub>1</sub> ← s<sub>2</sub>)  
 (3) 제품 전체 설계와의 상호의존 관계 (예를 들면, 부품 디자인과의 정합성, s<sub>1</sub> ← S<sub>1</sub> ← S 등)  
 (4) 서브 기능간의 상호의존성 (f<sub>1</sub> ↔ f<sub>2</sub>, F<sub>1</sub> ↔ F<sub>2</sub> 등).

일반적으로, 아키텍처의 분류는 여러 가지가 있으나, 대표적으로 모듈 형(Module)과 인테그랄 형(Integral) 으로 구분한다. 실제로는 한 가지의 제품 안에도 모듈형 부품과 인테그랄형 부품이 복합적으로 혼합되어 있는 경우가 많다. 또한, 제품을 어느 레벨까지 분해할 지에 따라 모듈화의 정도도 달라 질 수 있다.(藤本隆宏[2001]) 아래의 그림-1은 아키텍처를 구조화 하는 체계를 보여준다. 인테그랄 아키텍처는 한개 기능에 서브 부품이 복합적으로 연결되어 있어 전체적 구조 설계 없이는 기능적 목표를 구현하기 어렵다. 반면 모듈형은 기능과 서브 부품이 일대일로 연결되는 형태로서 부품의 확보가 전제된다면 전체 시스템 목표 구현이 가능하다.

모듈형 아키텍처는 기능과 부품의 관계가 비교적 단순하게 관계하고 있는 제품을 말한다. 가령 PC와 같이 하드디스크, 메모리, CPU 등이 기능적으로 독립된 구성요소로 분해되어 각 구성부품간의 관계가 규정된 인터페이스로 연결되는 구조이다. 즉 PC를 구성하는 각 부품의 기능이 독립적이기 때문에 부품간의 상호의존의 룰이 단순하여 단기의 기술학습이 용이하다. 또한 공정 역시 모듈형으로 연계되어 대량생산을 통해 가격경쟁을 용이하게 할 수 있다.

<그림-2 아키텍처 유형과 형태3>



반면, 인테그랄 아키텍처는 기능과 부품간의 관계가 매우 복잡하게 설정되어있는 구조를 말한다. 가령, 항공기의 경우, 자세제어란 성능지표를 달성하는데는 파워프랜트, 비행제어컴퓨터, 날개 등의 세부부품이 상호 밀접하게 연결되고 통합적 과정을 거쳐 자세제어의 성능을 좌우한다. 한 두가지 부품의 개선을 통해 목적된 성능을 달성하는 것이 아니라 성능자체의 시스템적 설계가 요구된다. 즉 여러 개의 서브 시스템 통합이 되고 그 위에 전체의 통합적 시스템을 통해 제품화가 구현되는 것이다. 이 경우 부품간의 상호의존의 룰이 복잡하여 기술학습이 매우 어려워진다. 가령 필요부품을 모두 확보했다 하더라도 전체적 시스템 설계가 블랙박스로 이루어져 있기 때문이다. 뿐만 아니라 공정 역시 전체적으로 시스템화 되어야 하기 때문에 분업화 인력으로는 한계가 있다. 각 공정인력 역시 항공기 체계시스템에 대한 다양한 학습을 통해 전체 프로세스를 이해하고 작업을 진행해야 한다.

3) 김갑수 외, 국가기술혁신시스템의 창조성과 협동성 발전 연구, STEPI, 2002

PC 역시 초창기에는 인테그럴 아키텍처 였으나 반도체 기술의 혁신으로 인해 완전한 모듈형 체제로 전환되었다. 자동차 역시 전형적 인테그럴 아키텍처에서 모듈형 아키텍처로 일반화 되고 있어 고급 세단/경주용 자동차를 제외한 대부분의 승용차는 모듈형 아키텍처로 전환되고 있다. 반면 항공우주산업은 수십만 가지의 부품이 조합되고 그 조합에 있어서도 시스템 종합적 설계를 바탕으로 오차범위를 최소화 시킬 때 제품화 할 수 있다. 이는 아키텍처 유형에 있어 Integral의 정도가 매우 강한 분야이며 제조상의 난이도 역시 매우 높은 분야이기 때문이다.

## 4. 아키텍처 개념에 대한 분석 틀

### 4.1 측정 기준의 필요성

항공기, 로봇, 의료장비 같이 복잡한 제품 시스템(CoPS)은, 단순히 모듈형이나 인테그럴형으로 분류되는 것이 아니라, 다른 아키텍처 특성을 가진 수많은 부품 들의 집합체이다. 따라서, 「모듈형 제품」 대 「인테그럴형 제품」 과 같은 스테레오 타입의 구도는 실제 제품개발 체계의 현실성을 반영하지 못한다.

Integral형 아키텍처 제품에서는, 설계에 변경을 더한 제품은 타 부품과 기능·구조적으로 서로 영향을 미치고 있으므로, 부품 설계문제의 해결에는 제품시스템 전체에 관한 정보가 필요시 된다. 타 부품과의 관계에 관한 충분한 지식이 없으면, 부품 설계를 개량하더라도, 제품전체로서의 성능이나 품질이 저하될 수도 있다. Integral형에서는 부품설계를 상호 조정하여 최적화 하지 않으면 전체로서 충분한 기능이 발휘되지 않기 때문이다. 따라서 해당 체계에 맞게 설계된 특수 부품도 많이 있다.

반면, 모듈형 아키텍처의 경우, 현지 적용부분을 기능·구조적으로 분리함에 따라, 보다 단순하고 독립된 정보나 조직 패턴을 이전하는 것만으로 해결할 수 있게 된다. 그러다 보니 부품의 연결부분의 설계 표준화에 따라 기존 설계부품을 이리저리 모으는것 만으로도 훌륭한 신제품을 만들 수 있는 제품이다.

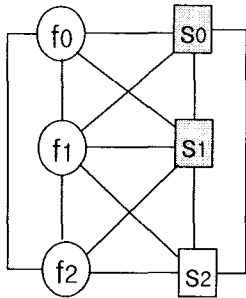
실제 기업은 모듈형과 인테그럴형을 어느 정도 혼재한 형태로 운영되는 것이 현실이다. 예를 들어 항공기 제작에 필요한 부품의 수가 많고 이들이 항공기 성능에 영향을 미친다는 단순한 논리로 항공산업이 Integral형 아키텍처라고 말하기 어렵다. 본 연구는 아키텍처 중 Integral 속성의 정도를 파악하여 아키텍처를 분석하였다. 이를 위한 개념적 틀로 1) 타 부품과의 기능적인 상호연관성과 2) 체계종합 설계와의 상호의존성 두 가지를 설정하였다. Integral정도를 나타내는 개념적 기준을 정의하였다.

### 4.2 Integral화 측정 기준 ① : 타 부품과의 기능적인 상호연관성

- 기능적 연관도: 해당부품만으로 요구기능이 불가능한 정도. 즉, 기능적으로 다른 부품과 상호 연관되어 있는 정도
- 기능의 상호연관도가 낮을수록 모듈화 됨을 의미

<그림-3 기능적 상호연관성4>

<통합형 : 부품간 기능의 상호연관성>



S : 부품, F : 기능

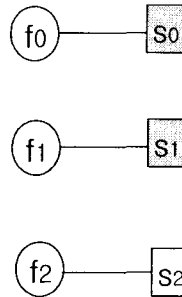
다른 부품과의 「기능적인 상호연관성」

$$(s_1 \leftarrow f_1 \leftarrow s_2, s_1 \leftarrow f_2 \leftarrow s_2)$$

서브기능간의 상호연계성

$$(s_1 \leftarrow f_1 \leftarrow f_2 \leftarrow s_2, s_1 \leftarrow f_2 \leftarrow f_1 \leftarrow s_2)$$

<비 통합형 : 부품간 기능의 상호연관성>



S : 부품, F : 기능

다른 부품과의 「기능적인 상호연관성」 없음

$$(s_1 \leftarrow f_0, s_2 \leftarrow f_1), (s_1 \leftarrow f_1, s_2 \leftarrow f_2)$$

서브기능간의 상호연계성 없음

$$(f_1 \leftarrow f_2, f_0 \leftarrow f_1)$$

그림 3의 Integral형 부분은 두가지 의미를 가진다. 먼저 한개 기능에 두 가지 이상의 부품이 연계되는 구도와 두 번째는 두가지 이상의 부품이 연결되는 기능 간의 상호의존성이다. 그림 3의 비 Integral형 부분은 부품간의 연계가 1차원적으로 연결될 뿐 상호 연계성은 없으며 기능 간의 연계도 없음을 의미한다.

### 4.3 Integral화 측정 기준 ② : 체계종합 설계에 대한 상호의존성

- Integral형 아키텍처 제품에서는, 설계에 변경을 더한 제품은 타 부품과 기능·구조적으로 서로 영향을 미치고 있으므로, 부품 설계문제의 해결에는 제품시스템 전체에 관한 정보가 필요
- 타 부품과의 관계에 관한 충분한 지식이 없으면, 부품 설계를 개량하더라도, 제품전체로서의 성능이나 품질이 저하될 수도 있다.
- 시스템을 종합하는 설계에 있어 그 부품에 미치는 영향의 정도
- 항공기 비행제어 컴퓨터의 경우 항공기 비행 전체를 직접 좌우하는 부분으로서 항공기 체계 설계에 비행제어 컴퓨터에 대한 설계요구치가 세부적으로 제시

4) 藤本隆宏(2001)의 이론을 본 취지에 맞게 재 구성

<그림-4 체계종합 설계에 대한 상호의존성>

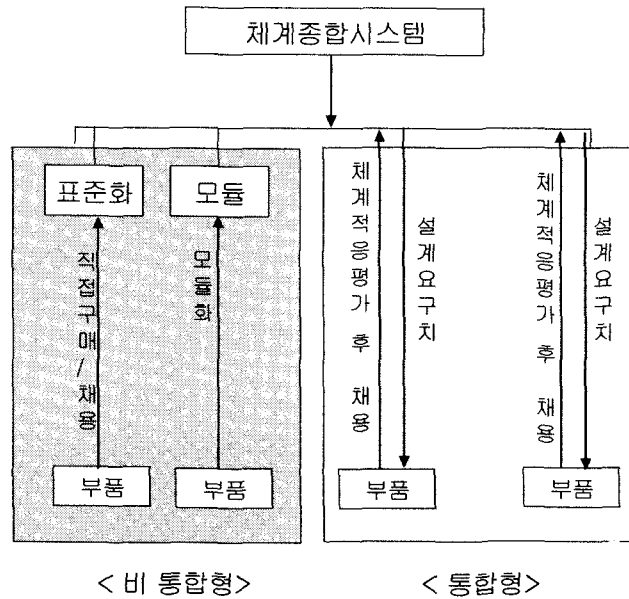


그림 4의 체계종합 설계에 대한 상호의존성은 두 가지 의미를 가진다. 먼저 체계종합을 하는데 있어 부품을 직접구매하여 채용하거나 부품을 모듈화 하고 이를 직접 채용하는 비 Integral형 방법이 있다. 두 번째는 Integral형 방법으로서 체계개발로부터 설계요구치에 맞게 제작하고 체계 적용이전 시험평가를 통해 채용여부를 판단하고 채용하는 것이다.

## 5. 제품 아키텍처 개념을 활용한 항공기 개발 시스템 분석

### 5.1 대상 산업

항공우주산업은 민간의 자발적인 투자가 제한적인 분야이어서 공공의 목적을 달성하기 위해 국가차원의 연구개발을 통해 기술발전을 이루어 왔다. 그렇다면 정부주도의 연구개발의 속성은 무엇이고, 어떻게 진행되어야 하는가?

김태유(2002)는 대형연구개발사업에 정부의 개입이 타당성을 지니기 위해서는 국가지원과의 접합한 고유의 특성을 지녀야 하고 이를 5가지로 정리하였다<sup>5)</sup>.

- 첫째, 외부경제효과와 이익의 비전유성 문제로 인해 연구개발이 사회적 편익은 크나 사회적 이익이 적어 투자가 촉진되지 못하는 분야
- 둘째, 불가분성과 규모의 경제로 인해 소규모 조직이 수행하기 어렵거나 비 효율적이거나 연구개발 성과가 국가전체의 이익과 결부된 기술 분야

5) 김태유 외, 대형연구개발사업의 기술적·경제적 타당성 분석방법, STEPI, 2002의 내용을 정리 요약함

- 셋째, 장기적이고 위험도가 높으나 성공시 이익이 매우 큰 기술개발
- 넷째, 정부가 공공의 목적을 수행하기 위한 기술개발에 책임이 있는 분야
- 다섯째, 정부가 국가 경쟁력을 높이기 위해 특정 기술분야를 국가전략으로 선정하고 추진하는 경우

항공우주산업은 기술적 수준이 매우 높고, 상품화를 통한 회수기간이 길지만 과학기술력에 기반을 둔다는 점과 산업구조상 연구개발 수행주체를 명확히 구분하기 어려운 공공분야관점에서 정부의 적극적인 연구개발 개입이 필요한 대상이다. 항공우주연구개발 투자의 방향성을, 몇몇 기술 선진국을 중심으로 진행되는 글로벌 환경과 선진국의 연구개발 투자방향을 토대로 설정함은 한계가 있을 수밖에 없다. 예를 들어, 항공우주산업에 대한 산업기술 분석은 1980년대 이래 지금까지 다음의 4가지 범주를 벗어나지 못하고 해석되어 왔다.

- 1) 기술 선진국형 종합시스템 산업
- 2) 높은 기술과급효과
- 3) 국방과 연계되는 국가주도형 산업
- 4) 기술적 난이도가 매우 높은 산업

이러한 4가지 범주는 항공우주산업을 대변하는 Keyword이지만 산업을 해석함에는 한계가 있다. 항공우주산업에 대한 해석의 한계를 가지면서 항공우주기술개발의 타당성을 입증하다 보니, 전체적인 설득력을 가지기보다 항공우주산업 내부 주체들에 한정되어 의견을 수렴하는데 그쳐왔다. 항공우주기술의 확보가 탈 냉전시대와 극변하는 세계정세, 북핵 문제와 동북아에서의 민족주의적 경쟁 구도 속에서 절대적으로 필요하다는 취지에 대다수가 공감하고 있지만, 정부의 투자와 민간의 수익회수가 상호 연계되고 사업적 파급을 유도하는 효과에 있어서는 혁신적 성과가 미흡했던 점도 사실이다. 항공우주산업이 21세기를 선도하는 시스템 종합적 산업이며, 국가적으로 확보해야 하는 중요성이 높은 산업임에도 불구하고 민간의 경제적 수익으로 연결하는데 있어 존재하는 장애적 요인을 효과적으로 진단하는 체계적인 산업기술분석이 선행되어야 한다. 이를 위해, 체계적인 산업기술분석의 방법론으로서 아키텍처 개념을 소개하고, 실증적 분석을 위해 항공기 개발과정에 분석방법을 적용하여 효과적 기술개발의 틀로서 아키텍처 개념이 지니는 가능성을 검증코자 한다.

## 5.2 분석 대상 및 방법

본 연구의 분석 절차는 다음과 같다. 항공기에 대한 기능분류와 서브부품 분류를 나누고 각 부품 분야에 대한 특성을 조사하였다. 분석을 위해서 활용한 데이터는 2005년 산자부와 산업기술재단의 "항공우주산업기술로드맵" 작성과정에서 T-50 항공기 개발에 참여한 KAI(주)와 국방과학연구소를 대상으로 심층조사된 내용이다. 본 자료는 3회에 걸쳐 T-50 체계종합전담 50명의 전문가가 547개 부품/기술 속성에 대한 세부적 분석을 하였다.



1) T-50 항공기를 구성하는 부품 및 기술에 대한 LEVEL 3 까지 분해

2) 하드웨어 적 속성인지 소프트웨어 적 속성인지 파악

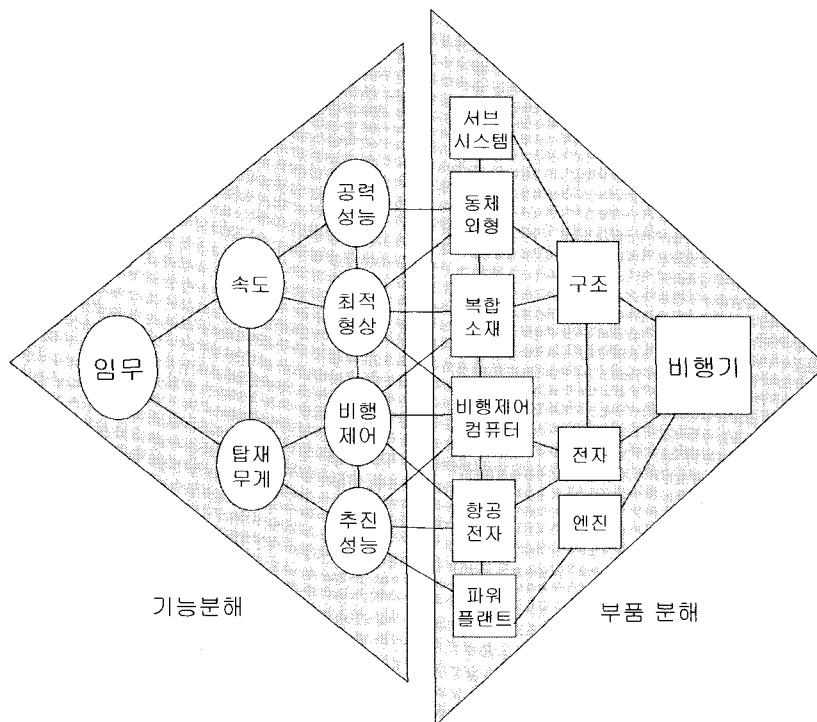
- 기술 자체를 개발해야 할 경우 및 품목개발에 있어 기술이 개발되는 경우가 있으므로, 우선적으로 품목과 기술을 구분하였다. 품목은 Hardware적으로 형상이 있는 것이라면, 기술은 Software 적으로 품목에 포함될 것이라고 구분하였다. 품목에 종속되는 기술이 외에 범용적으로 시스템 적 성격의 기술을 구분하기 위해서는 기술을 별도의 조사대상으로 삼을 필요가 있다. 즉 아키텍처의 형상은 Hardware적 품목으로 나타낼 수 있지만 각 품목 내부 또는 시스템 전체를 관통하는 인터페이스 부분은 기술을 독립적으로 구분해서 작업할 때 표현할 수 있다.

3) 표-2의 기준에 따라 277개 품목에 대한 분석과 표-5의 기준에 따라 270개 기술에 대한 분석

이러한 3단계 과정을 통해 항공기 개발에 들어가는 품목과 기술에 대한 아키텍처 속성을 분석하였다.

### 5.3 기능 분류 및 대응 부품 분류

<그림-5 항공기 기능 분류 및 대응 부품 분류>



위의 그림 5에서 항공기 기능 설계의 주된 축은 항공기의 수행 임무와 성능에 있다고 볼 수 있다. 항공기는 그 개념적 설계단계에서부터 비행기의 임무용도에 따라 수행할 수 있는 요구조건을 충족하는 설계를 한다. 따라서 임무용도의 정도에 따라 그 성능스펙의 구체적 사양이 결정된다. 가령 미국의 대표적 초음속 전투기인 F-16과 F-15를 예로 하자면 다음과 같다

<표-1 항공기 임무 설계>

항공기 체계	임무설계
F-16	임무 호환성을 통한 다 목적성
	제공력
	장거리 항속 성능
	다양한 화력 탑재가능
F-15	공중전 우위
	경량 무게
	빠른 출력 속도
	단거리 제공성능

즉 항공기는 임무에 따라 기능에 대한 분류가 정해지게 된다. 그림 5에서 보는 바와 같이 임무가 결정되면 이에 따른 속도 출력과 탑재 무게 같은 기능의 구체적 사양이 정해진다. 탑재 무게나 속도는 항공기 개념설계에서 항공기 크기와 엔진 등을 복합적으로 계산하여 설계된다.

가령 경량 항공기의 경우는 제어나 전자장비가 차지하는 비중보다 공력성능, 구조, 추진이 차지하는 비중이 클 수 있다. 이들은 동시에 표준화 하기 용이한 측면이 강한 분야이다. 반면 항공기가 중형 대형인 경우에는 제어나 전자장비가 차지하는 비중이 증가하면서 부품들은 각각의 공력 성능, 구조, 추진의 사양이 별도로 정의된다. 따라서 항공기 중에서도 임무의 수준이 낮은 경량항공기의 경우는 각 기능 모듈을 표준화 하여 모듈을 변화시켜 항공기 전체 성능에 영향을 줄 것이다. 그러나 임무이 수준이 높은 항공기의 경우는 전체적 개념설계에 따라 부품의 특성이 변하는 정도가 심하다.

그림 5의 오른쪽은 부품을 분해를 나타내고 있다. 본 연구는 다양한 기종의 항공기 부품 및 기술(Work Breakdown System)을 일반화하여 총 277개의 부품과 270개의 기술, 총 547개로 분해하였다<sup>6)</sup>. 부품은 level 2에서 서브시스템, 날개동체, 복합소재, 비행제어 컴퓨터, 항공전자, 파워플랜트로 나뉘어 진다. level 3 정도의 부품, 기술 547개를 본 연구 대상으로 다.

6) 본 연구대상인 품목과 기술은 산업자원부와 한국산업기술재단이 2005년도 작성한 항공우주산업기술로드맵을의 초기 조사대상 품목을 일반화한 부품과 기술 547개를 대상으로 하였음

## 5.4 연구개발 대상 부품 구분

### (1) 품목

품목 품목은 인테그럴 형과 모듈형 품목으로 나누었다.

<표 2. 품목분류>

구 분		설 명
품목	Integral 형	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시스템 종속적</li> <li>- 체계개발과 함께 설계할 수밖에 없는 품목</li> <li>- 체계개발을 시작하면서 새롭게 개발해야 하는 품목으로서 체계 개발 사업자가 직·간접적으로 개발해야 하는 품목</li> </ul>
	Module 형	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 품목별 표준화가 진행</li> <li>- 직접 구매하여 체계에 채용이 가능한 품목</li> <li>- 기술적 공통성이 많아 체계개발과 동시에 설계되어지지 않아도 되는 품목</li> <li>- 체계개발 사업자가 직·간접으로 개발하지 않아도 되는 품목</li> </ul>

인테그럴 형 품목의 특성은 System 종속적으로 개발된다는 점이다. 따라서 기 개발 항공기에 대한 국산화, 성능개량, 수명연장시스템, 체계개발에 있어 공통성(commonality)이 낮은 시스템, 군수에서 민수로 전환 시 개발할 시스템, 산업간 파급도가 매우 높은 품목을 대상으로 한다. 즉 체계개발과 함께 설계되어질 수밖에 없는 품목으로서 체계개발을 시작하면서 새롭게 개발해야 하는 품목으로서 체계개발 사업자가 직·간접적으로 개발해야 하는 품목이다.

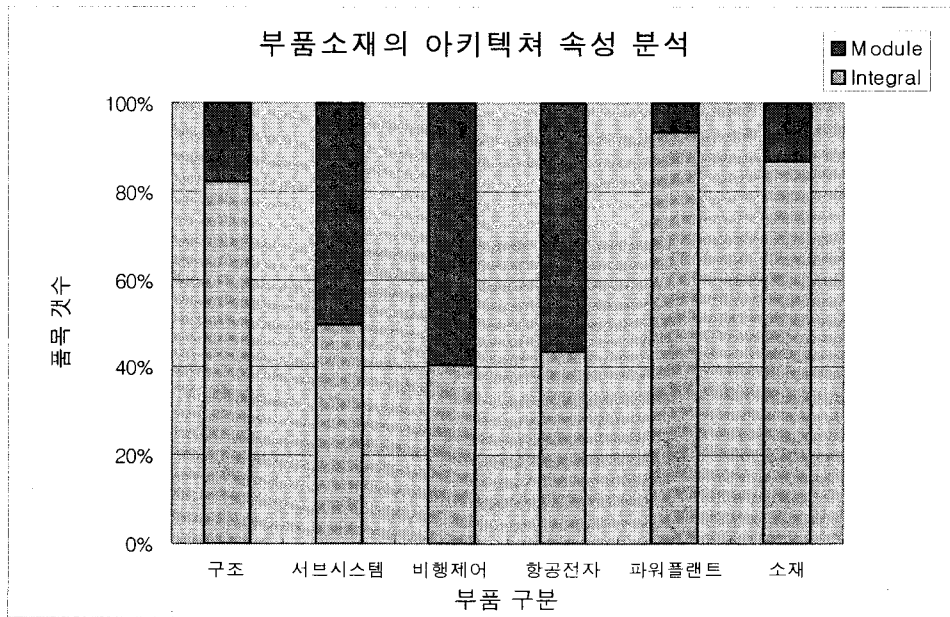
반면 모듈형 품목의 특성은 표준화가 상당 부분 진행되었다는 점이다. Commercial Standard에 적합하면 바로 장착이 가능한 Assembly 품목(계기류 등)으로, 표준화 및 요구사항이 명확하고, 기종간 공통성(Commonality)이 매우 높다. 또한 체계 System 사양에 따른 의존도가 낮다. 이 경우 직접 구매하여 체계에 채용이 가능한 품목으로서 체계개발 사업자가 직·간접으로 개발할 필요가 없다.

이를 통해 볼때, 전체 277개 중 65%인 181개가 인테그럴형인 시스템 종속성을 가지는 것으로 나타났다. 구조 품목 28개 중 82%인 23개 품목이 시스템 종속성을 가진 것으로 조사된 반면 비행제어, 항공전자 등 전자관련 품목은 50% 정도로 조사되어 상대적 Integral도가 떨어지는 것으로 나타났다.

<표 3. 분야별 부품소재의 아키텍처 유형 분석>

	갯수	Integral 형	Module 형	Integral 비율(%)
구조	28	23	5	82.1
서브시스템	68	34	34	50
비행제어	42	17	25	40.4
항공전자	39	17	22	43.5
파워플랜트	47	44	3	93.6
소재	53	46	7	86.7
총계	277	181	96	65.3

<그림 6. 분야별 부품소재의 아키텍처 유형 분석>



(2) 기술

기술 역시 인테그럴 형과 모듈형 품목으로 나누었다. **인테그럴 형 기술의 특성은 System에 영향을 미친다는 점이다.** 인테그럴 형인 시스템 종속형 기술은 시험평가, 설계해석 (공력, 구조, 추진, 제어, 항진) 등오 부 체계 전체에 통용되는 기술로서 특정한 품목(부품/소재)에 한정하여 적용되는 기술이 아닌, 시스템 차원에서 적용기술이다. **반면 모듈형 기술의 특성은 특정 품목 개발에 종속적이라는 점이다.** 모듈형인 스탠다드형 기술은 부체계 개발에 있어 어려운 장애적 기술, 어셈블리 자체, 기초, 생산가공상의 문제 해결이 되는 기술, 해외기술 의존도가 매우 큰 기술, 품목의 개발을 어렵게 하는 특정 코어기술로서 국내확보가 필요한 기술, 품목 종속적인 기술로서 이 기술의 유무에 따라 모듈/시스템 차원이 아닌 세부 품목 차원에서 꼭 필요한 기술이다.

<표 4. 기술분류>

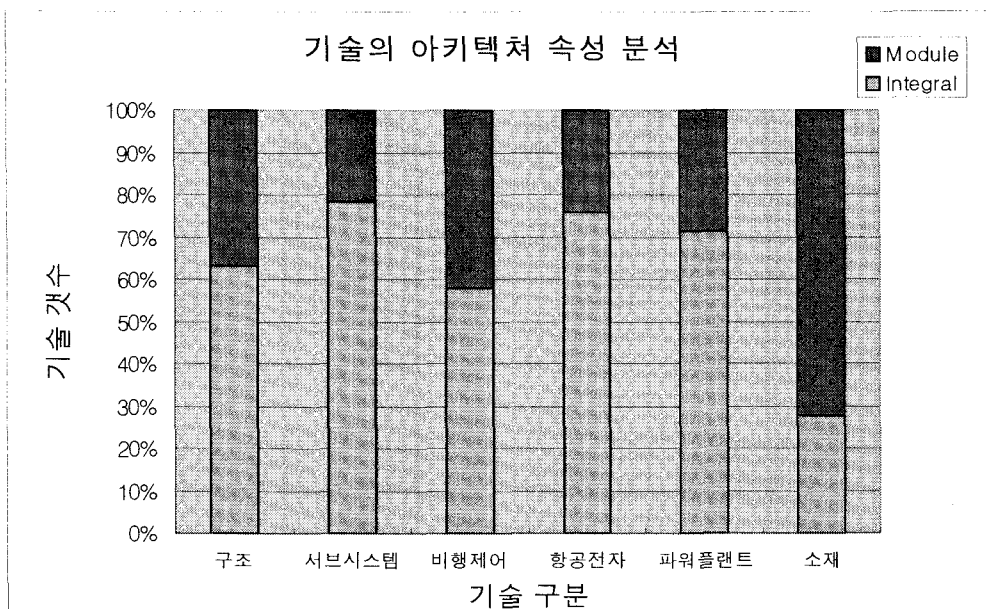
구분		설명
기술	Integral형	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시스템 기술</li> <li>- 부체계 전체에 통용되는 기반이 되는 기술로서 아직 국내에선 미확보 되었지만 확보해야 하는 기술</li> <li>- 특정한 품목(부품/소재)에 한정되어 적용 되는 기술이 아닌 모듈/시스템 차원에서 적용 되는 기술</li> </ul>
	Module형	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특정 요소 기술</li> <li>- 품목의 개발을 어렵게 하는 특정 코어기술로서 국내확보가 필요한 기술</li> <li>- 품목 종속적인 기술로서 이 기술의 유무에 따라 모듈/시스템 차원이 아닌 세부 품목 차원에서 꼭 필요한 기술</li> </ul>

이러한 기준에서 전체 270개 중 64%인 173개가 인테그럴형인 시스템 종속성을 가지는 것으로 나타났다. 서브시스템 기술 46개 중 78%인 36개 기술이 시스템 종속성을 가진 것으로 조사된 반면 소재기술은 20%로 낮게 조사되어 상대적 Integral도가 떨어지는 것으로 나타났다.

<표 5. 분야별 기술의 아키텍처 유형 분석>

구분	갯수	Integral 형	Module 형	Integral 비율(%)
구조	38	24	14	63.1
서브시스템	46	36	10	78.2
비행제어	43	25	18	58.1
항공전자	33	25	8	75.7
파워플랜트	74	53	21	71.6
소재	36	10	26	27.7
총계	270	173	97	64.1

<그림 7. 분야별 기술의 아키텍처 유형 분석>



## 5.5 분석의 의미

### (1) 분석 요약

항공기 시스템 구성에 대한 아키텍처 특성을 파악하기 위해서는 먼저 항공기 시스템을 분해하고 복잡한 구성을 단순화해야 한다. 단순화된 요소에 대한 아키텍처 특성 분석을 통해 전체시스템에서 아키텍처 유형이 지니는 의미를 파악할 수 있다. 표 3을 보면 분야별 부품소재의 아키텍처 유형 특징을 쉽게 파악할 수 있다. 특히 항공기 구조(Structure), 파워플랜트, 소재는 80%이상의 품목이 시스템 종속성을 가지고 있어 인테그럴 유형에 매우 근접해 있다고 볼 수 있다. 반면 비행제어, 항공전자 등은 40% 만이 시스템 종속성을 지니고 있어 모듈형에 가깝다고 볼 수 있다. 비행제어 및 항공전자는 항공기에 탑재되어 운영되는 전자장비와 지상에서 대응하는 장비로 나뉘어진다. 기능적으로는 통신장비, 항법장비 및 임무장비 등이 있다. 그중 항공기 비행제어에 관련된 핵심 부분인 FCC(Flight Control Computer)는 항공기 체계설계에 종속적으로 개발되어 지나 그 외 장비관련 부분은 개발된 대상을 체계종합에 탑재한다. 특히 전자산업의 기술적 발전을 통해 체계설계와 독립적인 개발이 가능해졌다고 볼 수 있다. 특히 레이테온(Raytheon), 하니웰(Honeywell), 탈레스 등 항공전자 업체에 대한 기술적 신뢰도 역시 체계종합업체에 많은 영향을 미쳤을 수 있다. 반면 항공기 구조(Structure), 파워플랜트, 소재는 항공기 체계종합업체가 직접 부품에 대한 조달 및 개발 생산을 담당한다. 특히 구조와 소재는 항공기 비행에 있어 필수적인 경량화와 내구성과 직결되는 부분이다. 따라서 체계설계에 상당부분 종속되어 진행될 수밖에 없다.

<표 6. 분야별 품목/기술의 아키텍처 분석 정리>

	품목			기술		
	Integral 비율(%)	Integral 순위	속성	Integral 비율(%)	Integral 순위	속성
구조	82.1	3	Integral	63.1	4	Integral
서브시스템	50	4	Integral	78.2	1	Integral
비행제어	40.4	6	Module	58.1	5	Integral
항공전자	43.5	5	Module	75.7	2	Integral
파워플랜트	93.6	1	Integral	71.6	3	Integral
소재	86.7	2	Integral	27.7	6	Module
총계	65.3			64.1		

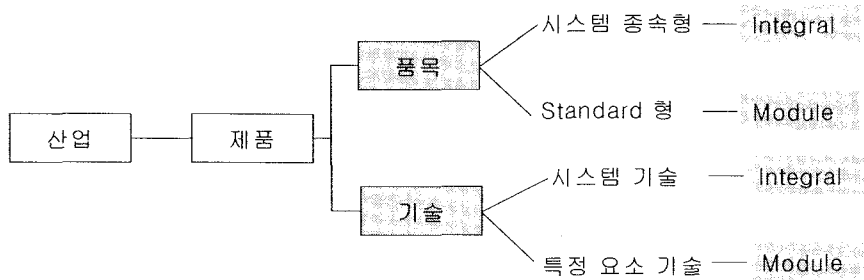
반면 부품에 흡수되어 있는 기술의 아키텍처 유형 특징은 표 4에 있다. 부품소재와는 다르게 소재를 제외한 모든 분야가 인테그럴 특성을 가지고 있다. 특히 서브시스템, 항공전자, 파워플랜트는 70%이상의 품목이 시스템 종속성을 가지고 있어 인테그럴 유형에 매우 근접해 있다고 볼 수 있다. 반면 부품소재에서는 80%이상의 인테그럴형을 보인 소재가 기술적 면에서는 낮은 인테그럴 특성을 보인 것은 특이하다. 소재 자체는 체계설계에 상당부분 종속되어 진행되나 소재를 개발하는 기술 자체는 특정 코어기술의 특성이 강하다고 볼 수 있다. 즉 소재는 시스템적 기술보다 특정의 특수적 기술이 요소별로 적용되기 때문이다. 소재 기술은 전반적으로 재료 공학적 기술이다. 먼저 금형, 세라믹, 복합재료, 고분자 재료를 제조

하고 분석하는 재료기술, 개발된 재료에 대한 공정기술, 그리고 손상평가 및 내구성 진단과 같은 시험평가 기술로 구분할 수 있다. 기술 자체적 특성은 소재 자체에 대한 재료연구이기 때문에 시스템에 대한 종속성이 비교적 낮다. 그러나 완성된 소재는 직접 날개, 동체, 엔진에 채용되기 때문에 소재 자체는 체계종합에 대한 종속성이 매우 크다. 기술과 품목의 전체적 인테그럴 유형 비율이 65%로 거의 일치하고 있다. 이를 통해 항공기 시스템의 아키텍처 특성이 인테그럴형에 가까이 있다고 말할 수 있다.

(2) 분석의 함의

인테그럴 아키텍처 유형이 매우 높은 산업에 대한 기술분류는 기존의 고전적 기술분류로는 한계가 있다. 산업 내 제품과 기술의 전체 구조를 투영할 수 있는 분류화 작업이 수반되어야 한다. 이를 위해 본 연구는 산업기술을 부품과 기술로 분류하고 이를 인테그럴 유형과 모듈형 유형으로 구분하였다.

<그림 8. 아키텍처형 산업기술 분류 구조>



인테그럴 유형과 모듈형 유형은 개발 목적, 개발 방안, 전략에 서로 차별화 된다. 인테그럴 유형이 기술의 급진적 혁신을 바탕으로 하는 시스템 설계유형의 기술이라면 모듈 유형은 서브시스템 레벨에 설계 및 표준화를 전제로하는 생산혁신을 바탕으로 한다. 특히 부품소재 기업의 제품 추세가 다품종소량생산으로 가는 데 있어 해답은 어떻게 모듈형 기반을 마련하는가에 있다. 즉 제품생산에 필요한 장비, 설계, 공정의 필요한 모든 요소를 단일화하여 최적화 해야 한다. 이를 위해서는 구체적으로 부품코드, 부품표, 필요기술코드 등의 인터페이스를 단일화 해야 하고 나아가 단품을 생산하는 소규모협력업체와의 연결·통합 역시 중요하다.

<표 6. 아키텍처 유형별 개발 방향>

	Integral Architecture	Module Architecture
의미	· 기술의 급진적 혁신을 바탕으로 하는 시스템 설계유형	· 서브시스템 레벨에 설계 및 표준화를 전제로하는 생산혁신
개발 목표	· 설계능력의 확보를 통한 기술우위	· 개발/생산의 최적화를 통한 파급효과
개발 전략	· 실제 운영상의 데이터를 기반으로 시스템 개념 설계 능력 제고 · 중장기적 원천기술과 응용기술 연계	· 제품생산에 필요한 장비, 설계, 공정의 필요한 모든 요소를 단일화하여 최적화 - 인터페이스를 단일화 - 소규모협력업체와의 연결·통합
개발 방안	· 대형 체계개발 사업과 연계된 개발	· 독자적 기술개발 사업을 통한 개발

설계능력의 확보를 통한 기술우위는 인테그럴 아키텍처 개발의 핵심적 개발 목표이다. 즉 설계능력을 바탕으로 기술적 우위를 제고하고 이를 통해 성장잠재력을 극대화하여 산업내 파급을 가능케 하는 단계적 산업 전략을 수립해야 한다. 구체적으로 초기에는 인테그럴 유형인 시스템 종속형은 해외 업체와 공동으로 사업<sup>7)</sup>을 진행하는 것이 바람직하다. 이러한 체계종합 프로젝트를 추진하면서 인테그럴 유형의 부품에 대한 세부적 개발 목표를 정하고 추진하여 개념적 설계 및 상세설계 능력을 확보해야 한다. 부품소재에 있어 구조(Structure), 파워플랜트, 복합소재 개발은 T-50, KHP 등 대형 항공기 체계사업을 통해 체계와 밀접한 연결을 매개로 연구개발이 추진되어야 한다.

반면 모듈형 아키텍처에 있어 개발/생산 효율화는 매우 필수적 요소이다. 개발/생산의 최적화를 통해 타 산업으로의 파급효과를 극대화하는 것이 항공우주산업이 내세워온 기술파급제고를 가능케 할 것이다. 구체적 방안으로 모듈형 아키텍처 품목은 체계종합 완제기의 사양에 종속되지 않기 때문에 국내 기업의 독자적 개발이 가능하다. 국내 완제기 획득사업이 존재하지 않더라도 국제공동연구 및 외국으로 수출할 수 있는 대상에 대해선 전략적으로 사업화 할 수 있는 지원이 요망된다. 체계사업과는 별도로 정부가 추진하고 있는 항공우주부품 기술개발사업의 방향은 항공전자, 비행제어컴퓨터 등 모듈형 아키텍처에 집중함이 보다 전략적 접근이다.

7) 대표적 사업인 T-50은 록히드 마틴과의 공동연구로 진행되었으며



## 6. 결론

지난 8월 30일, T-50 롤아웃을 성공적으로 마무리 했다. 10년에 걸친 연구개발을 거쳐 세계 12번째로 초음속기를 생산하는 국가로 들어섰다. IMF 외환위기의 어려운 난관을 거치면서도 개발기간을 맞추기 위해 설계도면 작성을 8개월이나 앞당긴 강행군을 통해서 얻어낸 결과이다. 특히 설계 전 과정을 컴퓨터 시뮬레이션 CATIA를 통해 제작하는 성과도 거두었다. 이를 통해 항공우주산업 본연의 목표를 달성하면서 업체의 수익기반을 확보케 할 수 있는 1단계 문턱을 넘은 것이다. 체계종합의 전 과정의 경험을 바탕으로 항공기의 Integral도를 최대한 확보할 수 있도록 인테그럴 아키텍처의 부품공급 망, 연구개발, 조직 체계들을 최적화 시켜 T-50을 우리나라 항공우주산업의 blockbuster로 만들어야 한다. T-50의 개량형인 A-50과 한국형 전투기 (KFX)등의 후속 연구개발사업 추진전략은 기술혁신과 프론티어 제품이 창출하는 산업의 아키텍처 특성에 대한 깊은 이해를 바탕으로 수립되어야 한다. 이처럼 항공우주산업의 아키텍처적 특성은 심화된 인테그럴형이다. 그럼에도 불구하고, 항공우주 기술개발에는 다른 모듈형 산업과 유사한 지원 체계를 적용해 왔다. 국내 자력기술을 바탕으로 T-50을 양산하게 된 지금, 항공우주산업은 도약을 위한 새로운 연구개발 체계를 요구한다.

항공우주산업과 같이 정부주도로 추진되는 연구개발의 주요 대상은 기술학습이 상당부분 진행된 모듈형 아키텍처에 있는 것이 아니라 기술의 향후 파급의 정도가 매우 크고 국가적 기술수준을 제고할 수 있는 Integral 아키텍처에 있다고 볼 수 있다. Integral 아키텍처 산업을 모듈화 아키텍처로 전환시켜 생산 및 상업화를 용이케 하고 나아가 업체의 참여를 유도해야 한다. 정부차원의 연구개발이 당장의 성과를 올릴 수 있는 모듈형 아키텍처에 집중되는 것은 정부연구개발의 본연의 취지에 적합하지 못하다. 정부의 연구개발은 기술의 난이도가 매우 높아 연구개발의 리스크가 큰 분야, 기술의 파급도가 매우 큰 분야를 중심으로 지원하여, 단기적 성과는 미진 할 지라도 산업전체의 발전 흐름을 촉진 시킬 수 있도록 지원해야 한다<sup>8)</sup>. 특히 이러한 경우 연구개발의 미시적 방향은 인테그럴 아키텍처에 대한 전략적 기술습득에 맞추어져야 하고, 예산의 실행은 경제적 타당성을 확보할 수 있도록 집행되어야 할 것이다. 물론 항공우주산업의 특성 상 인테그럴 아키텍처가 모듈형으로 전개되기는 매우 어려울 것이다. 그러나 항공우주산업이 정부와 민간의 상호연함으로 진행되기 위해서는 인테그럴 속성에 대하여 철저히 분해하고 연구개발-제품화-생산공정으로 이루어지는 개발의 전 과정을 감안한 기술개발 지원이 추진되어야 한다. 개발 전 과정에 대한 검토는 앞서 설명한 아키텍처 분석틀을 통해 제공될 수 있다. 이에 앞서 설명한 아키텍처 분석은 매우 효과적 체계를 제공한다. 이를 통해 항공우주 연구개발이 효과적으로 추진되어 산업의 비즈니스 기반을 견고히 함은 물론 기술적 수준을 더욱 고도화할 수 있는 기반을 마련한다.

기술의 융합이 진행되면서 기술의 경계가 갈수록 모호해지고 있다. 이에 따라 산업의 명시적 구분이 한계를 지니게 되면서 기술에 따른 독특한 특성의 이해가 중요해지고 있으며 기술이 적용되는 제품특성에 맞는 효과적 기술획득 방안이 요구되고 있다. 기술개발 관점에서 아키텍처를 적용하기 위해서는 아키텍처에 대한 측정 방법론 및 구성 체계 등에 있어 보다 실증적 연구가 필요하다. 이는 본 연구의 후속적 작업으로 진행할 계획이다. 이러한 후속 연구의 필요에도 불구하고, 아키텍처 이론을 항공기 시스템에 적용한 본 연구는 비단 항공 산업 뿐만 아니라 타 산업, 제품에도 적용될 수 있는 기술개발에 있어 산업기술분석의 틀을 제공하는 단초를 제공하고 있다.

8) 정통부의 연구개발사업을 분석한 결과 기술적 개발위험도가 높을 수록, 높은 성과를 보였다는 실증적 연구가 있었음(임명화, “국가연구개발사업의 가치-위험특성 분석”, 충남대, 2000.8)

## 7. References

1. Ulrich, Karl, *The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm*, *Research Policy* 24, 1995
2. Koen Frenken, *A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry 1909-1997*, *Research Policy* 29, 2000. pp 257-272
3. Andrea Prencipe, *Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: the case of the aircraft engine control system*, *Research Policy* 29, 2000. pp895-911
4. Rosaline K. Gulati, *The Coupling of Product Architecture and Organizational Structure Decisions*, *MIT Working Paper Number 3906*
5. Uzumeri, M., and Sanderson, S. (1995). "A framework for model and product family competition." *Research Policy*, 24, 583-607.
6. 藤本隆宏, *ビジネス・アーキテクチャ*, 有斐閣, 2001
7. 김갑수 외, *국가기술혁신시스템의 창조성과 협동성 발전 연구*, STEPI, 2002
8. 김태유 외, *대형연구개발사업의 기술적·경제적 타당성 분석방법*, STEPI, 2002
9. 임명화, "국가연구개발사업의 가치-위험특성 분석", 충남대, 2000.8
10. 박중구, 김봉균, 이관엽, "항공우주산업기술로드맵", 산업자원부, 2004