

## 공학 설계 프로세스에서 설계 변경 영향 해석

정태형(한양대)\*, 박승현(한양대 대학원)

### Change Impact Analysis in Engineering Design Process

Tae Hyong Chong(Hanyang Univ.), Seung Hyun Park(Graduate School, Hanyang Univ.)

#### ABSTRACT

There are many changes while a design is completed. Therefore, if the impact of the design changes is estimated, it may result in the improvement of design efficiency. But, the design changes have various types and affect other parts of the design system. Hence, it is difficult to deal with design changes directly. The purpose of this research is to develop a systematic change propagation tracing algorithm and a method of change impact analysis and then, to implement a change impact analysis system. Process based design is set up for the field of this research. Also the design, composed of design parameters and constraints, is set up for the subject of the research.

Change propagation tracing algorithm traces change propagation based on the following concept : If the design parameters are changed, other parameters within the constraints including them may be changed. Using the result of change propagation tracing algorithm, changeable parameters, constraints and tasks can be found. The method of change impact analysis, to calculate change impact value from this changeable tasks, is developed. Change propagation tracing algorithm and the method of change impact analysis are implemented into change impact analysis system and it is applied to the redesign of 2 stage gear drives. It can support different kinds of design activities systematically. Especially, at the redesign step, where many design change alternatives exist, change impact value of each alternative is calculated and design change is performed toward direction to minimize the impact of design change. Consequently, it is expected to improve the efficiency of the whole design.

**Key Words** : Design Methodology(설계 방법론), Change Propagation(변경 전파), Change Impact Analysis(변경 영향 해석), Process-based Design(프로세스 기반 설계), Dependency Analysis(상관관계 해석)

#### 1. 서론

어떤 제품의 설계는 수많은 설계 변경을 거쳐 이루어지게 된다. 따라서 설계 변경을 수행하기 전에 그 영향을 미리 알 수 있다면 보다 효율적으로 설계 변경을 처리할 수 있게 되어 전체 설계의 효율을 높일 수 있다. 그러나 설계 변경은 그 형태가 매우 다양하고 그 영향이 설계의 다른 부분에까지 미치기 때문에 설계 변경을 직접적으로 다루는 것은 상당히 어려운 문제이고, 이런 어려움 때문에 설계 변경과 관련된 연구가 그다지 많이 수행되지 못한 것이 사실이다. 이 부분 연구에서는 설계 변경의 영향을 쉽게 추적할

수 있는 입출력 중심의 설계 프로세스를 기반으로 하여 설계 변경을 직접 다룰 수 있는 설계 변경 전파 추적 알고리즘과 설계 변경 영향 평가 방법을 개발하고, 이를 이용하여 설계 변경안 결정을 지원할 수 있는 시스템을 개발한다. 이렇게 개발된 시스템을 2단 치차장치 설계에 적용하여 시스템의 유용성을 확인한다.

#### 2. 공학 설계에서 설계 변경 전파

##### 2.1 설계 변경 전파

설계 변경이 설계의 다른 부분에 영향을 미치지 않는 경우도 있지만, 실제 설계에서는 그

영향이 설계의 다른 부분에까지 확산되는 경우가 대부분이다. 이와 같은 현상을 변경 전파(change propagation)<sup>[1]</sup>라고 한다.

### 2.2 프로세스 기반 설계 개요

프로세스 기반 설계(process-based design)는 기계 설계 과정을 작업(task) 단위의 조합으로 정의하여 설계 목적을 이룰 수 있는 설계 프로세스를 정의하고, 이에 따라 설계를 수행해 나가는 것이다.<sup>[2]</sup> 본 연구에서는 설계 목적을 만족시키기 위해 수행되는 작업과 이로부터 산출되는 데이터의 관점에서 설계 프로세스를 정의하였다. 즉, Fig. 1과 같이 설계 프로세스를 어떤 상위 작업으로부터의 입력을 받아 임의의 작업을 거쳐 출력으로 변환되는 연속된 과정으로 표현하였다. Fig. 1에서 데이터는 직사각형, 작업은 타원으로 표시하였다.

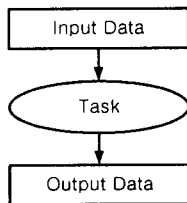


Fig. 1 Graphical representation of a design process

### 2.3 프로세스 기반 설계에서 설계 변경 전파

상관관계 해석(dependency analysis)이란 설계의 각 부분 사이의 관계를 설정하는 것으로 데이터 상관관계(data dependency)와 제어 상관관계(control dependency)가 가장 일반적으로 사용되고 있다.<sup>[3]</sup> 데이터 상관관계는 데이터를 정의하고 사용하는 프로그램 부분 사이의 관계를 나타내고 제어 상관관계는 프로그램 실행을 제어하는 프로그램 부분 사이의 관계를 의미한다.

프로세스 기반 설계에 대한 연구가 입출력 데이터 중심으로 되어있다는 점에서 프로세스 기반 설계에서의 데이터 상관관계를 정의할 수 있다. 프로세스 기반 설계 연구에서 상위 작업의 출력 데이터가 하위 작업의 입력 데이터로 들어가는데 이것은 상위 작업에서 하위 작업으로 데이터의 이동이 일어나는 것을 의미한다. 따라서

이와 같이 작업 사이의 데이터 이동이 있을 때 두 작업 사이에 데이터 상관관계가 있는 것으로 정의하였다.

Fig. 2는 데이터 상관 관계를 도식적으로 표현한 것이다. Fig. 2에서 왼쪽 그림은 치차장치를 구성하는 각 부품을 설계해서 조립하는 프로세스를 나타낸 것이고, 오른쪽 그림은 이 프로세스를 데이터 상관 관계를 중심으로 재구성한 것으로서 이와 같은 형태의 그림을 데이터 상관관계 그래프(data dependency graph)<sup>[4]</sup>라고 정의하였다.

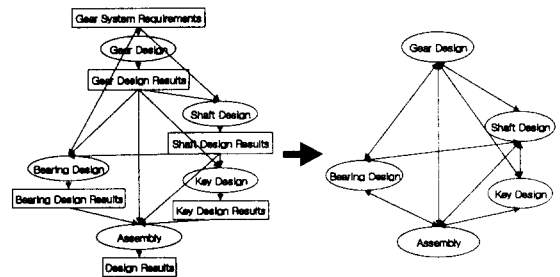


Fig. 2 Data dependency graph of a gear system design

## 3. 설계 변경 영향의 해석

### 3.1 적용 대상의 설정

본 연구에서는 설계에서 사용되는 모든 변수들과 인자들을 설계 파라미터로 규정하고 이들의 집합을 설계 데이터로 설정했다. 설계 변경 전파를 추적하기 위해서는 설계 파라미터 사이의 관계를 정의할 수 있어야 한다. 실제 설계에서 다른 설계 파라미터와 독립적인 설계 파라미터는 거의 없고 어떤 형태로든지 서로 관련이 있는 경우가 대부분이다. 따라서 설계 파라미터 사이의 관계를 규정하기 위해 설계 파라미터들로 구성된 구속조건들을 상세히 기술하고 이를 설계 변경 전파의 추적에 이용했다.

### 3.2 설계 변경 전파 추적 알고리즘

설계 변경을 추적하고 그 영향을 알아보는 가장 확실한 방법은 실제로 설계 파라미터의 계산을 수행하는 것이지만, 설계 파라미터의 계산을 수행하면 각 파라미터의 값을 결정하기 위한 추가적인 비용과 시간이 필요하게 된다. 따라서

직접적인 설계 파라메타의 계산 없이 설계 변경의 전파와 그 영향을 확인할 수 있다면 추가적인 노력이 필요없게 되므로 설계 변경과 관련된 설계 활동을 보다 효율적으로 지원할 수 있게 된다. 본 연구에서는 직접적인 설계 파라메타의 계산 없이 설계 변경의 전파를 확인하고 그 영향을 평가할 수 있는 방법론을 개발하는데 초점을 맞추었다.

설계 변경 전파 추적 알고리즘의 기본적인 아이디어는 여러 개의 설계 파라메타로 구성된 구속조건에서 하나의 설계 파라메타가 변경되면, 그 구속조건이 위배되지 않도록 하기 위해서 구속조건에 포함된 다른 설계 파라메타들이 변경될 가능성을 가진다는 것에서 출발한다. 이 아이디어를 바탕으로 설계 변경 전파 추적 알고리즘의 개요를 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

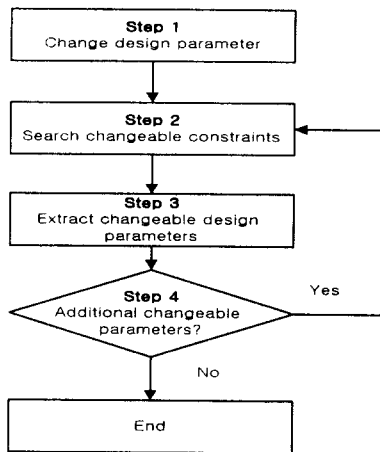


Fig. 3 Change propagation tracing algorithm

Fig. 3에서 설계 파라메타가 변경되면(step 1) 이 설계 파라메타가 속해있는 구속조건들이 위배될 가능성을 가지게 되므로, 이 설계 파라메타를 포함하고 있는 구속조건들을 추출한다(step 2). 구속조건에 포함되어 있는 설계 파라메타가 변경되면 그 구속조건이 위배되지 않게 하기 위해서 구속조건 내부의 다른 파라메타들이 변경 가능성을 가지게 되므로, 구속조건 내의 변경 가능성을 가진 파라메타들이 변경되는 것으로 가정을 한다(step 3). 이 파라메타들을 포함하고 있는 구속조건을 추출해서 같은 방식으로 변경 가능성이 있

는 파라메타들을 추가로 찾아내고 이 파라메타 역시 변경된다고 가정한다. 이런 과정을 더 이상 변경 가능성이 있는 파라메타가 나타나지 않을 때까지 반복한다(step 4). 결과적으로 변경 전파의 추적이 끝난 후에는 설계 파라메타는 변경 가능성이 전혀 없는 설계 파라메타와 변경 가능성이 있는 설계 파라메타의 두 그룹으로 나누어지게 된다.

이 과정을 프로세스 기반 설계에서 작업 단위의 수준에서 살펴보면 다음과 같다. 설계 변경이 일어나면 변경되는 설계 파라메타를 포함하고 있는 구속조건을 찾아서 그 파라메타가 속해있는 작업 내에서 설계 변경 전파가 시작된다. 만약 다른 작업에 속해있는 설계 파라메타가 변경될 가능성을 가지게 되면 그 작업으로 설계 변경이 전파되고, 그렇지 않으면 그 작업에서 다른 곳으로의 전파는 더 이상 없는 것이다. 즉 설계 변경이 일어난 곳을 중심으로 전방향으로 퍼지는 것이 아니라 일단 그 작업 내부에서 먼저 전파되고 이 영향이 관련이 있는 외부 작업으로 전파되는 양상을 보인다.

그러나 단순히 이런 방법만으로 설계 변경을 추적한다면 실제보다도 훨씬 더 많은 설계 파라메타가 변경 가능성을 가지게 되어서 추적 결과의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 이를 보완하기 위해서 고정 파라메타라는 개념을 정의하였다. 고정 파라메타는 설계 변경이 일어나도 그 영향을 받지 않는 파라메타로 실제 변경이 되지 않는 부분으로까지 설계 변경의 영향이 전파되는 것을 차단하는 역할을 한다. 설계 명세에 속하는 파라메타는 형식적으로는 구속조건을 구성하는 다른 파라메타와 차이가 없어 보이지만 실제로는 변경되어서는 안 되는 것이다. 예를 들어 치차 설계만 따로 고려할 때 입력 속도나 입력 동력 같은 파라메타는 설계 명세에 속하는 것으로 치차의 크기 같은 다른 설계 파라메타가 바뀌더라도 변경되지 않아야 하는 파라메타이다.

고정 파라메타의 결정은 각 설계마다 달라질 수 있다. 치차 설계 전체 설계의 일부분을 구성할 때 다른 설계 변경의 영향으로 인해 입력속도가 변경되어야 하는 경우가 발생할 수도 있을 것이다. 이런 경우에는 입력속도가 고정 파라메타

로 취급되지 않을 것이다. 설계 제원 이외의 다른 파라메타도 고정 파라메타가 될 수 있다. 설계자의 직접적인 개입으로 고정 파라메타가 추가될 수 있는데 이는 단순히 설계 변경의 추적 이상의 의미를 가질 수 있다. 어떤 파라메타를 고정하느냐에 따라서 설계 변경의 전과가 달라지기 때문에 설계자가 고정 파라메타의 설정을 여러 가지로 바꿔가면서 그 영향을 확인할 수 있게 되기 때문이다.

고정 파라메타 역시 그 영향이 다른 설계 파라메타로 전파될 수 있다. 구속조건에는 부등식 조건뿐만 아니라 등식 조건도 있게 되는데, 기존의 고정 파라메타로부터 등식 조건을 구성하는 다른 설계 파라메타가 고정되는 경우가 발생할 수 있다. 이렇게 기존의 고정 파라메타들로 인해 다른 파라메타가 고정 파라메타가 되는 경우 이런 파라메타들을 파생 고정 파라메타라고 정의하였다.

### 3.3 설계 변경 영향의 평가

설계 변경이 발생하면 전체 설계 중의 일부분에서 재설계가 이루어져야 하는데 재설계를 수행하면 그에 상응하는 비용이나 시간 등의 설계 자원을 소모하게 된다. 따라서 설계 변경이 일어났을 때 재설계에 드는 설계 자원이 적으면 설계 변경 영향이 작고, 반대로 많은 부분을 재설계해야 한다면 설계 변경 영향이 큰 것으로 정의할 수 있다. 이와 같은 관점에서 설계 변경 영향을 평가하기 위해서는 재설계에 필요한 설계 자원을 결정할 필요가 있는데, 본 연구에서는 프로세스 기반 설계 연구에서 제안한 작업(task)을 설계 변경 영향 평가를 위한 대상으로 설정하였다.

작업을 설계 변경 영향해석을 위한 대상으로 이용하기 위해서는 어떤 작업 내에서 설계 변경 가능성을 가진 파라메타가 있다면 그 작업 전체가 변경될 가능성을 가지게 된다는 가정이 필요하다. 이 가정은 두 가지 면에서 타당성을 가진다. 첫째, 일반적으로 실제 설계를 수행작업 단위로 나누게 되면 각 작업 내의 설계 파라메타 대부분이 서로 관련이 있게 되는데, 이는 수행작업이 작은 단위의 부품의 설계이거나 또는 매우 관련이 깊은 요소들의 집합체의 설계이기 때문이

다. 따라서 작업 내의 설계 파라메타들은 서로 관계를 가지고 있고 독립적인 부분이 거의 없게 된다. 둘째, 독립적인 부분이 있다고 하더라도 대부분 매우 작고, 실제 재설계를 수행할 때는 대부분의 경우에 그 작업내의 모든 설계 파라메타에 대해서 탐색을 하게 되므로 재설계에 필요한 비용이나 시간 등은 그렇지 않은 경우와 거의 차이가 없게 된다.

이 가정을 바탕으로 설계 변경 영향 평가를 위한 방법을 개발하였다. 비용과 시간으로 재설계를 수행하는데 필요한 설계 자원의 양을 나타냈다. 이때 각 작업의 비용과 시간은 초기설계가 끝난 후에 설계 변경이 이루어지는 것으로 가정하고 초기설계시의 비용과 시간으로 설정했다. 이 두 가지 값을 이용하여 각 작업의 설계 변경에 대한 평가지수(rating value)를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$\text{Rating value} = \frac{\text{Cost}}{\text{maxCost}} + \frac{\text{Time}}{\text{maxTime}} \quad (1)$$

여기서, Cost는 작업을 수행하는데 필요한 비용, Time은 작업을 수행하는데 필요한 시간, maxCost는 전체 작업 중에서 가장 비용이 많이 드는 작업의 비용, maxTime은 전체 작업 중에서 가장 시간이 많이 드는 작업의 시간이다. 식 (1)에서 평가지수는 0과 1 사이로 표준화되며 평가 지수가 클수록 재설계를 하는데 필요한 설계 자원이 많아지는 것, 즉 값이 클수록 설계 변경을 완성시키는데 더 많은 비용과 시간이 필요하다는 것을 나타낸다.

각 작업의 평가지수가 결정되면 설계 변경 추적 알고리즘과 결합해서 설계 변경 영향을 평가할 수 있는 수치를 계산할 수 있다. 설계 변경이 일어났을 때 설계 변경 추적 알고리즘을 이용해서 변경 가능성이 있는 설계 파라메타와 구속조건을 추출하고 이들이 속해있는 작업을 변경 가능성이 있는 것으로 규정한다. 이 작업들의 평가지수를 이용하여 식 (2)와 같이 설계 변경 영향도(change impact value)를 계산한다. 이 값 역시 0과 1사이에 있도록 표준화하였다.

$$\begin{aligned} &\text{Change impact value} \\ &= \frac{\sum \text{Rating values of the changeable tasks}}{\sum \text{Rating values of all tasks}} \quad (2) \end{aligned}$$

설계 변경 영향도(식 (2))는 값이 작을수록 설계 변경의 전파로 인한 재설계를 수행할 때 설계 자원을 상대적으로 적게 소모됨을 의미한다. 만약 모든 작업이 변경될 가능성을 가지게 되면 설계 변경 영향도는 1이 될 것이다.

#### 4. 시스템 구현

Fig. 4는 설계 변경 영향 해석 시스템(Change Impact Analysis System : CIAS)의 구조이다. CIAS에서는 데이터베이스를 이용하여 설계 파라메타, 구속조건, 작업에 대한 정보를 저장하고, 데이터 입력 모듈(data input module), 설계 변경 전파 추적 모듈(change propagation tracing module), 설계 변경 영향 해석 모듈(change impact analysis module)로 각각의 기능이 모듈화 되어있다. 각 모듈은 윈도우 환경 하의 그래픽 유저 인터페이스(graphic user interface)와 연결되어 있어서 각 기능을 쉽게 사용할 수 있게 하였다.

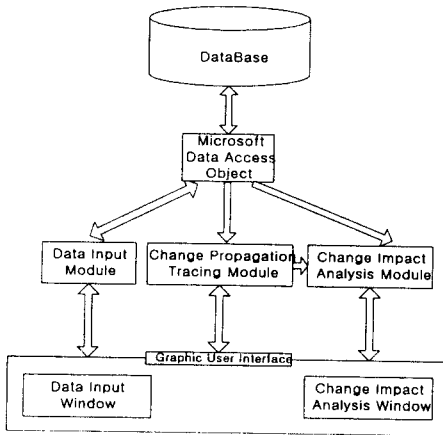


Fig. 4 Architecture of the Change Impact Analysis System

데이터 입력 모듈은 설계 파라메타, 구속조건, 작업 정보가 저장되어 있는 데이터베이스에 접근해서 데이터의 입력, 수정, 삭제 등의 작업을 수행한다. 설계 변경 전파 추적 모듈은 데이터베이스에 저장되어 있는 데이터를 이용해서 설계 변경의 전파를 추적하는 기능을 제공한다. 설계 변경 영향 평가 모듈은 각 작업의 비용과 시간에

대한 식 (1)의 평가지수를 계산하고, 설계 변경 전과 추적 결과를 토대로 변경 가능성이 있는 작업의 리스트를 보여주고 식 (2)의 설계 변경 영향도를 계산하는 기능을 수행한다

#### 5. 적용 예

두 개의 치차쌍과 각각에 대응하는 축과 기를 가지고 있는 2단 치차장치 설계에 CIAS를 적용하였다. Fig. 5는 2단 치차장치 설계 프로세스를 데이터 상관관계 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 5에서 작업 1(Task1)과 작업 6(Task6)은 각각 1단과 2단의 운전조건을 결정하는 작업으로 하단부에 각 단의 설계가 연결되어 있다. 작업 9(Task9)는 1단 기어축을 설계하는 작업으로 1단 기어와 2단 피니언의 공통축이 된다.

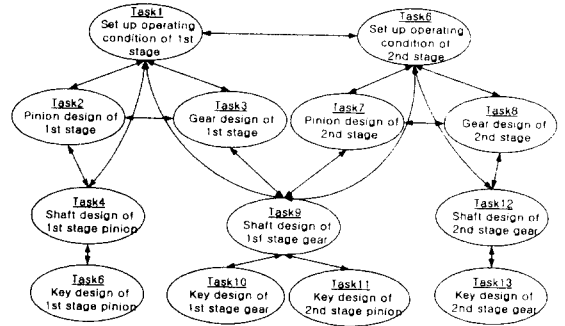


Fig. 5 Data dependency graph of 2 stage gear system

초기설계가 이미 수행되었다고 가정하고 설계 도중 전감속비를 변경해야 할 필요가 발생했을 때 설계자가 1단의 감속비는 변경하지 않고 2단의 감속비만을 변경해서 이를 해결하려는 상황의 설계 시나리오를 설정하였다. 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 2단 기어의 잇수를 바꾸는 경우를 대안 1로 하고 피니언의 잇수를 바꾸는 경우를 대안 2로 설정해서 각각에 대해 시스템을 적용하였다. 이때 설계자가 피니언과 기어의 모듈과 압력각을 그대로 둔 채, 즉 이의 형상을 그대로 둔 채로 피니언 또는 기어의 잇수를 바꿈으로써 감속비를 변경하는 것으로 가정하였다.

각 작업에서 필요한 설계 파라메타와 구속조

건과 수행작업에 대한 정보를 데이터 입력 창을 통해 데이터베이스에 입력하였다. 이때 각 작업을 수행하는데 필요한 비용과 시간은 초기설계가 이미 수행된 것으로 가정하고 초기설계 시의 비용과 시간을 임의로 설정해서 입력한 것이다.

### 5.1 대안 1(2단의 기어 잇수 변경)의 경우

설계 시나리오에 맞게 고정 파라메타를 설정하여 CIAS를 수행하여 최종적으로 Fig .6과 같은 결과를 얻었다.

Name	Description	Cost	Time	Rating
Task2	Shaft design of 2nd stage gear	30	25	0.6125
Task3	Key design of 2nd stage gear	20	20	0.45
Task5	Set up operating condition of	10	40	0.6
Task8	Gear design of 2nd stage	50	40	1

Change Impact Value : 0.2975

Note : When All tasks is changeable, Change Impact Value is 1.

Buttons: Back, Finish

Fig. 6 Change impact analysis window :  
Final phase

2단의 기어 잇수를 변경시켰을 때의 설계 변경 영향도는 0.2975이다. 이 값은 전체 설계가 모두 변경될 때를 1로 했을 때 2단의 기어 잇수를 변경하면 이 설계 변경을 수행하기 위해서 전체 설계의 0.2975배의 만큼의 비용과 시간이 필요함을 의미한다.

### 5.2 대안 2(2단의 피니언 잇수 변경)의 경우

대안 1과 마찬가지로 방법으로 같은 조건에서 2단의 기어 잇수를 고정한 채로 2단의 피니언 잇수를 변경하는 경우에 대해서도 CIAS를 적용하였다. CIAS를 실행한 결과 설계 변경 영향도가 0.8883이고, 이 값은 2단의 기어 잇수를 변경할 때의 설계 변경 영향도인 0.2975보다 크다. 따라서 재설계에 필요한 비용과 시간의 관점에서 볼 때 2단의 감속비를 변경하기 위해서는 2단의 피니언 잇수를 변경하는 것보다는 2단의 기어 잇수를 변경하는 쪽이 더 좋다고 말할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 설계 파라메타와 구속조건을 이용하여 설계 변경 전과 추적 알고리즘과 설계 변경 영향 평가 방법을 개발하였으며, 설계 변경 전과 추적과 설계 변경 영향 평가를 수행할 수 있는 설계 변경 영향 해석 시스템(CIAS)을 개발하였다. CIAS는 설계 파라메타의 직접적인 계산을 필요로 하지 않으므로 설계 변경의 전과와 그 영향을 설계자가 쉽게 확인할 수 없는 복잡한 설계에서도 적은 노력으로도 설계 변경 전과와 설계 변경 영향을 확인할 수 있는 장점을 가진다.

CIAS는 대안 결정을 지원하는데 이용될 수 있다. 여러 가지 설계 변경안이 있을 때 각 대안에 대해서 CIAS를 적용하여 설계 변경 영향도를 계산하고 이 값을 비교하여 설계 변경안을 선택하게 되면, 설계 변경 영향이 작아지는 방향으로 설계 변경을 수행할 수 있기 때문에 설계 변경을 수행하는데 드는 비용과 시간이 줄어들게 된다. 특히 설계가 진행됨에 따라 작은 설계 변경이라도 전체 설계에 드는 비용과 시간에 매우 큰 영향을 미친다는 점에서 CIAS는 설계의 효율을 높이는데 유용하게 사용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Cohen, Tal, 1997, "A Data Approach to Tracking and Evaluating Engineering Changes", Georgia Institute of Technology, Ph.D Thesis.
- [2] 김현, 명재형, 목경태, 1998, "동시공학 구현을 위한 Web 기반의 공학 프로세스 지원 프레임워크", 한국 CAD/CAM 학회 논문집 제 3권 제 4호, pp. 283-292.
- [3] Loyall, J.P. and Mathisen, S.A., 1993, "Using Dependence Analysis to Support the Software Maintenance Process", Software Change Impact Analysis, IEEE Computer Society Press, pp. 127-136.
- [4] Moser, L.E., 1990, "Data Dependency Graphs for Ada Programs", Software Change Impact Analysis, IEEE Computer Society Press, pp. 172-184.