

# 다양한 구조설계 과정의 표현을 위한 모델의 필요성



이 창 호\*

## 1. 서 론

하나의 건축물을 완성하기 위한 구조설계는 여러 가지의 설계작업들을 포함하고 있다. 이 설계 작업들은 단순한 순서에 의해서 진행되지 않고, 구조물에 따라서 또한 구조 설계자에 따라서 복잡한 과정을 거치게 된다. 구조설계 과정의 전체 또는 일부를 컴퓨터로 처리하기 위해서는 구조설계 과정을 질서정연하게 표시할 수 있는 표기법을 지닌 모델(model)이 필요하게 되고, 여러 연구자들에 의하여 제시된 모델<sup>1)~4)</sup>들이 있다. 본 기사에서는 이러한 모델들에 대하여 설명하는 대신에, 이러한 모델들이 나타내는 구조설계의 다양한 과정들의 일부를 단순화된 방법으로 소개하고자 한다. 간단한 구조물에 대하여 구조설계 과정의 예를 알아보고, 이를 통하여 설계과정의 다양성을 표현을 위한 모델의 필요성을 살펴보고자 한다.

## 2. 구조설계 과정의 표현을 위한 모델

구조물의 구조설계 과정을 표현하기 위한 model의 하나로서 Multilevel Selection Development (MSD) model<sup>2)</sup>이 있다. MSD model은 구조설계 과정을 나타내는 구체적인 표기법을 포함하고 있는 model은 아니나, 구조설계의 다양성을 설명하기 위하여 MSD model의 개념이 본 기사에서 이용되었다.

그림 1은 MSD model의 개념을 나타내고 있다. MSD model은 구조설계 작업(activity)을 크게 selection과 development로 표현하고 있다. selection은 여러 가지 alternative들을 생성시키고, 비교하고, 선택하는 작업을 나타내고, development는 각각의 alternative에 대한 설계 작업을 나타낸다. 그림 1에서 사각형들이 selection 또는 development를 표시한다. 그림에서 구조설계는 system 계층(level), subsystem 계층, basic component 계층으로 구분되었다. 각각의 계층은

\* 정희원·한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, 연구 조교수

selection과 development를 포함한다. system 계층에 있는 selection과 development는 system의 설계를 위한 것이고, subsystem 계층에 있는 selection과 development는 frame, floor, roof, wall 등과 같은 subsystem의 설계를 위한 것이고, basic component 계층에 있는 selection과 development는 beam, column, slab 등의 basic component의 설계를 위한 것이다.

그림 1에서 selection은 root node(최상위에 있는 node) 또는 AND node(AND link 아래에 있는 node)이다. development는 OR node(OR link 아래에 있는 node)이다. 따라서, 하나의 development가 완료되기 위해서는 AND link로 연결된 모든 selection이 완료되어야 한다. 그러나, 하나의 selection이 완료되기 위해서는 OR link로 연결된 하나의 development만이 완료되면 된다.

그림 1에서 설계과정은 system 계층에 있는 selection으로부터 시작된다. 이 selection을 위해서는 system의 alternative들을 나타내는 development들이 있어야 한다. 각각의 alternative는

여러 개의 subsystem으로 분해되기 때문에 각각의 development는 subsystem 계층의 selection들이 있어야 한다. 이 selection을 위해서는 subsystem의 alternative들을 나타내는 development들이 있어야 한다. 각각의 alternative는 여러 개의 basic component로 분해되기 때문에 각각의 development는 basic component 계층의 selection들이 있어야 한다. 이 selection을 위해서는 basic component의 alternative들을 나타내는 development들이 있어야 한다.

### 3. 구조설계 과정의 예

MSD model을 나타내는 그림 1을 이용하여, 그림 2에 나타난 structure A에 대하여 구조물의 설계과정의 예를 살펴보자. 그림 2a는 structure A를 위하여 구조설계 조건으로 주어진 structural form이다. 설계과정 도중에 single bay system(그림 2b)와 double bay system(그림 2c)의 두 가지 alternative가 develop되었다. 두 가지

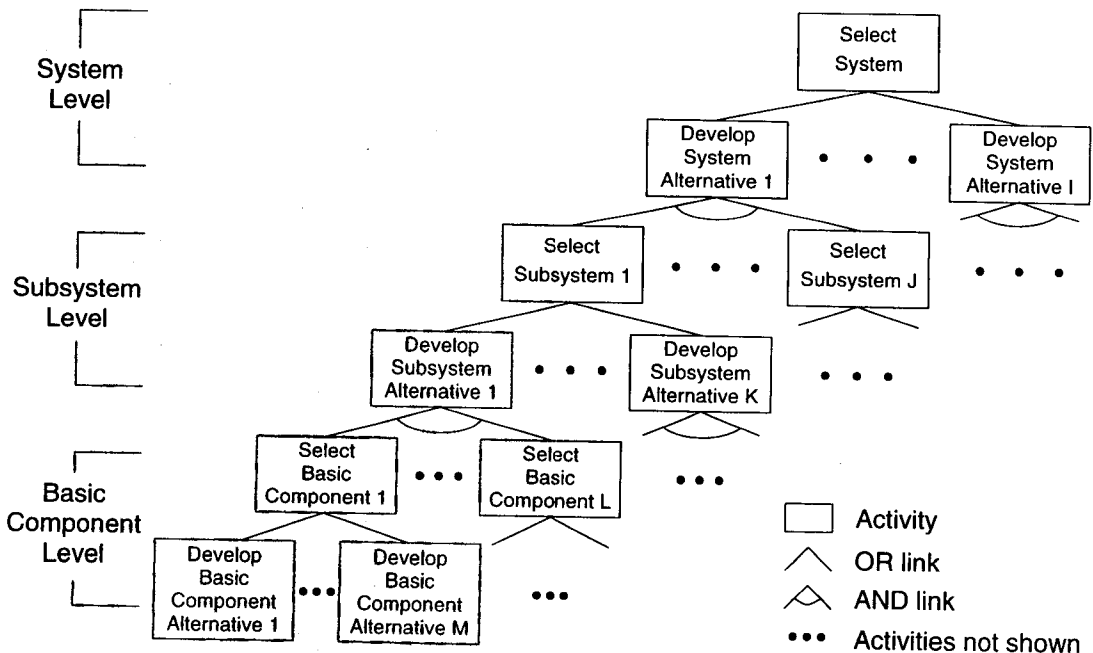
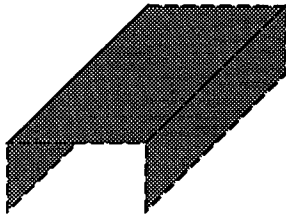
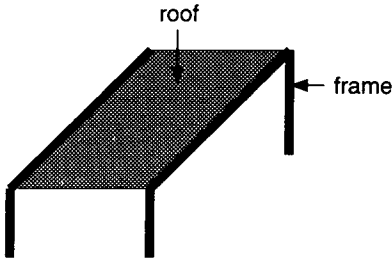


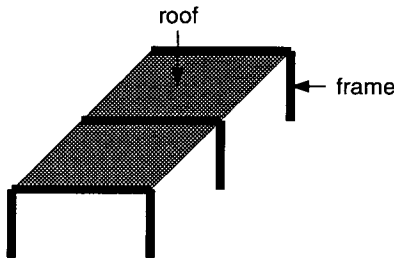
그림 1 구조설계 과정의 표현을 위한 모델의 예



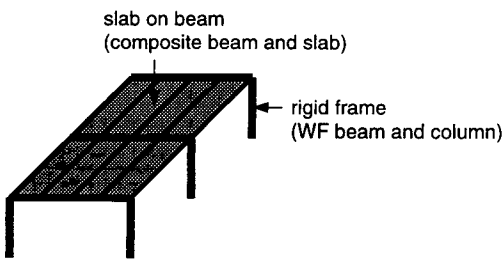
(a) Structural form



(b) Alternative system 1 (single bay system)



(c) Alternative system 2 (double bay system)



(d) Final structure

그림 2 Structure A

alternative 모두 frame subsystem과 roof subsystem으로 이루어진다. 설계과정이 진행된 후에 최종적으로 double bay system이 select되었고 (그림 2d), double bay system의 frame으로서

rigid frame이 select되었고, roof로서 slab on beam이 select되었다. rigid frame은 WF (wide flange) beam과 WF column으로 이루어지고, slab on beam은 composite beam과 composite slab로 이루어진다. 이러한 structure A의 구조설계는 여러 가지의 구조설계 과정에 의하여 진행될 수 있다. 이 중에서 두 가지 예에 대하여 알아보자.

### 3.1 구조설계 과정-예 1

예 1은 그림 3에 나타나 있다. 이 예는 가장 간단한 구조설계 과정의 예를 나타낸다. 8개의 step에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

(1) Step 1(그림 3a) : single bay system과 double bay system이 system을 위하여 develop 되었다.

(2) Step 2(그림 3b) : double bay system이 system으로서 select되었다. single bay system은 eliminate되었고, single bay system을 위한 작업은 종료되었다.

(3) Step 3(그림 3c) : double bay system이 frame subsystem과 roof subsystem으로 분해되었다.

(4) Step 4(그림 3d) : rigid frame과 semi-rigid frame이 frame의 alternative로서 develop 되었다. slab on beam과 slab on bar joist가 roof의 alternative로서 develop되었다.

(5) Step 5(그림 3e) : rigid frame이 frame으로서 select되었다. slab on beam이 roof로서 select되었다.

(6) Step 6(그림 3f) : rigid frame은 beam과 column의 basic component로 분해되었다. slab on beam은 beam과 slab의 basic component로서 분해되었다.

(7) Step 7(그림 3g) : WF beam과 joist girder가 beam의 alternative로서 develop되었다. WF column과 tube column이 column의 alternative로서 develop되었다. 같은 방법으로 다른 4개의 alternative도 develop되었다.

(8) Step 8(그림 3h) : WF beam이 beam으로서 select되었다. WF column이 column으로서

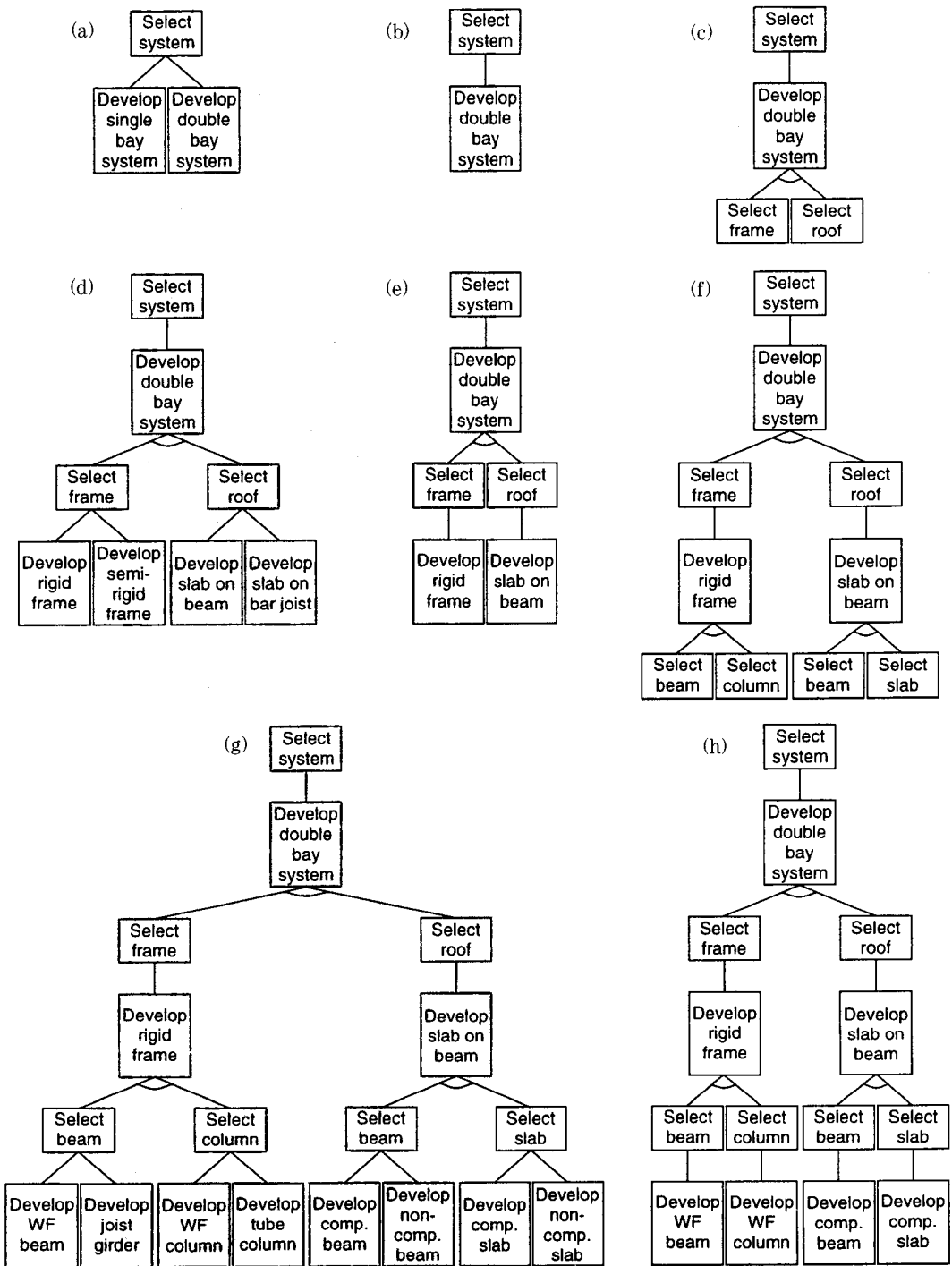


그림 3 구조설계 과정-예 1

select되었다. 같은 방법으로 다른 2개의 alternative도 select되었다.

이 예는 두 가지 기본적인 특징을 보여준다. 첫째, 설계과정이 균등하게 진행되었다. Step 1(그림 3a)에서는 system의 alternative들이 develop되었고, Step 3(그림 3c)에서는 system이 frame과 roof로 분해되었고, Step 4(그림 3d)에서는 frame과 roof의 alternative들이 함께 develop되었고, Step 6(그림 3f)에서는 rigid frame과 slab on beam의 alternative들이 함께 분해되었고, Step 7(그림 3g)에서는 beam, column, slab의 alternative들이 함께 develop되었다.

둘째, system 계층까지 진행되자마자 system의 alternative가 select되었고, subsystem 계층까지 develop되자마자 subsystem의 alternative가 select되었고, basic component 계층까지 develop된 후에 basic component들의 alternative가 select되었다. Step 1(그림 3a)에서 system 계층까지 develop된 후에, Step 2(그림 3b)에서 double bay system이 select되었다. Step 4(그림 3d)에서 subsystem 계층까지 develop된 후에, Step 5(그림 3e)에서 rigid frame과 slab on beam이 select되었다. Step 7(그림 3g)에서 basic component 계층까지 develop된 후에 WF beam, WF column, composite column, composite slab가 select되었다.

### 3.2 구조설계 과정-예 2

예 2는 그림 4에 나타나 있다. 이 예는 예 1과는 다른 종류의 설계과정을 보여준다. 11개의 step에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

(1) Step 1(그림 4a) : single bay system과 double bay system이 system을 위하여 develop되었다.

(2) Step 2(그림 4b) : single bay system이 frame subsystem과 roof subsystem으로 분해되었다. 두 가지 alternative가 frame을 위하여 develop되었고, 두 가지 alternative가 roof를 위하여 develop되었다.

(3) Step 3(그림 4c) : rigid frame이 single

bay system의 frame으로 select되었다. semi-rigid frame은 eliminate되었고 이 alternative를 위한 작업이 종료되었다. 또한 slab on beam은 beam과 slab의 basic component로서 분해되었다. 두 가지 alternative가 beam을 위하여 develop되었고, 두 가지 alternative가 slab를 위하여 develop되었다.

(4) Step 4(그림 4d) : double bay system이 frame subsystem과 roof subsystem으로 분해되었다. 두 가지 alternative가 frame을 위하여 develop되었고, 두 가지 alternative가 roof를 위하여 develop되었다.

(5) Step 5(그림 4e) : double bay system이 system으로서 select되었다. single bay alternative는 eliminate되었고, 이 alternative를 위한 작업이 종료되었다. 이 작업 아래에 있는 작업들도 종료되었다.

(6) Step 6(그림 4f) : rigid frame이 beam과 column의 basic component로 분해되었다. 두 가지 alternative가 beam을 위하여 develop되었고, 두 가지 alternative가 column을 위하여 develop되었다. 같은 방법으로 slab on bar joist도 분해되었다.

(7) Step 7(그림 4g) : slab on beam이 roof로 select되었다. slab on bar joist는 eliminate되었고, 이 alternative를 위한 작업은 종료되었다. 이 작업 아래에 있는 작업들도 종료되었다.

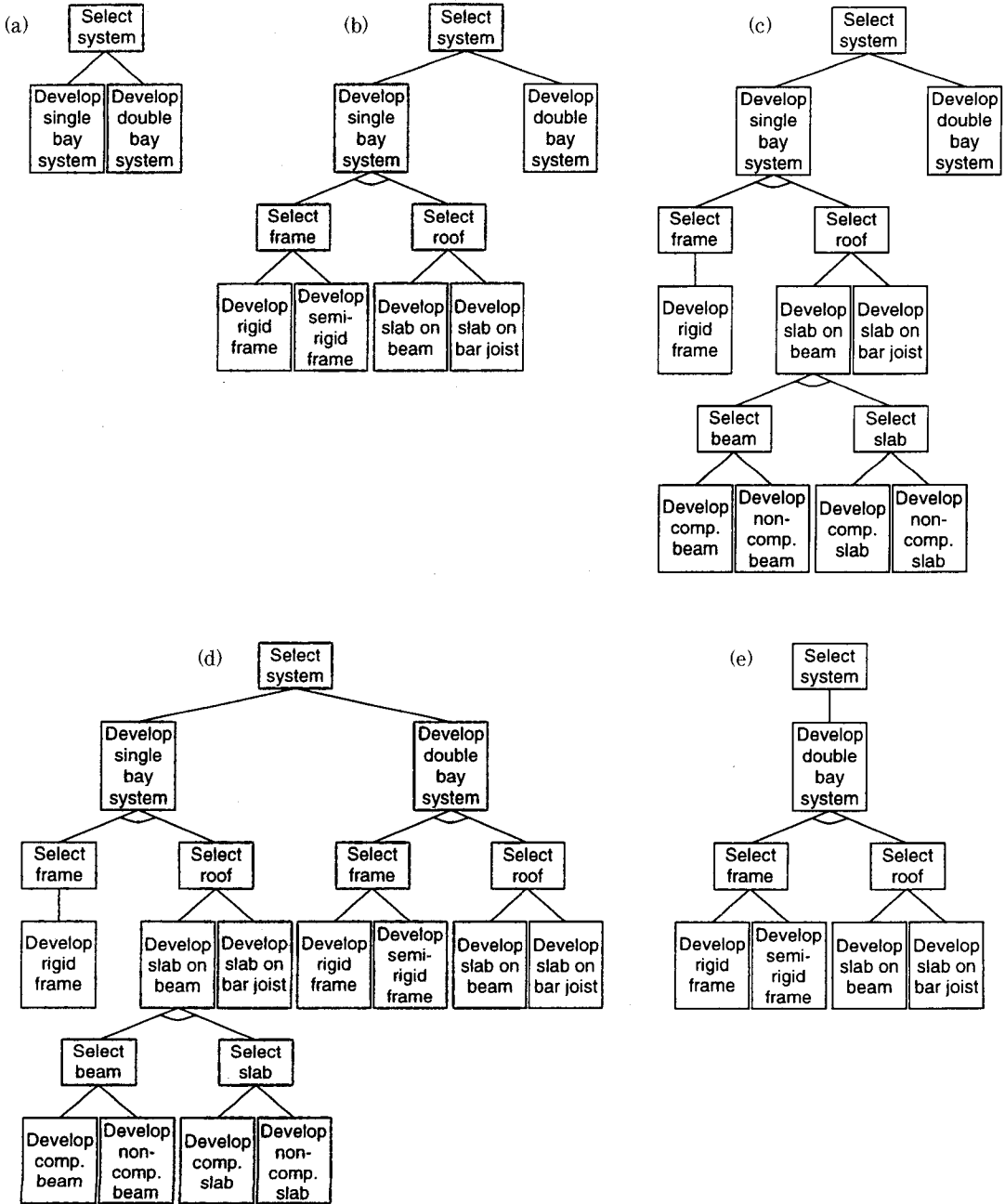
(8) Step 8(그림 4h) : slab on beam이 beam과 slab로서 분해되었다. 두 가지 alternative가 beam을 위하여 develop되었고, 두 가지 alternative가 column을 위하여 develop되었다.

(9) Step 9(그림 4i) : WF beam이 beam으로서 select되었다. WF column이 column으로서 select되었다. joist girder와 tube column은 eliminate되었고, 이 alternative들을 위한 작업들은 종료되었다.

(10) Step 10(그림 4j) : rigid frame이 frame으로서 select되었다. semi-rigid frame은 eliminate되었고, 이 alternative를 위한 작업은 종료되었다.

(11) Step 11(그림 4k) : composite beam이 beam으로서 select되었다. composite slab가 slab로서 select되었다. 전체 설계과정이 종료되었다. 이 예는 예 1과는 다른 여러 특징들이 있다.

첫째, 설계과정이 불균등하게 진행되었다. Step 3(그림 4c)에서 single bay system은 basic component 계층까지 진행되었지만, double bay system은 system 계층까지만 진행되었다. Step



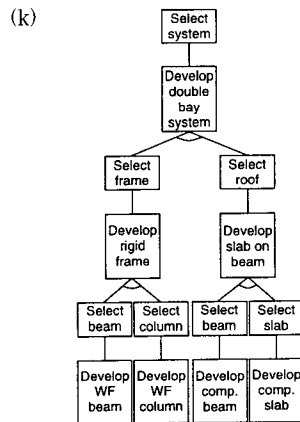
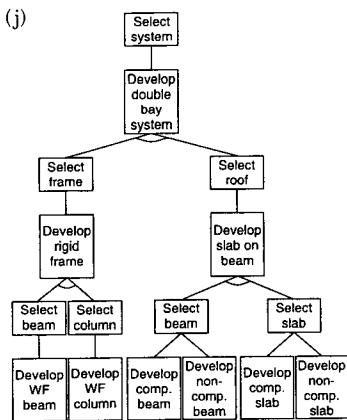
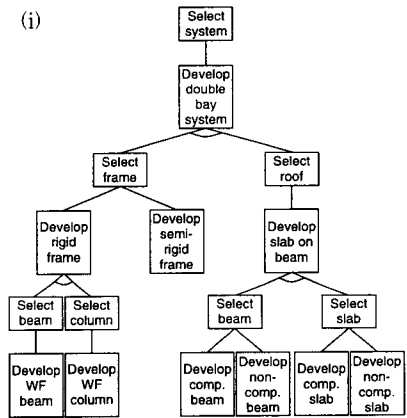
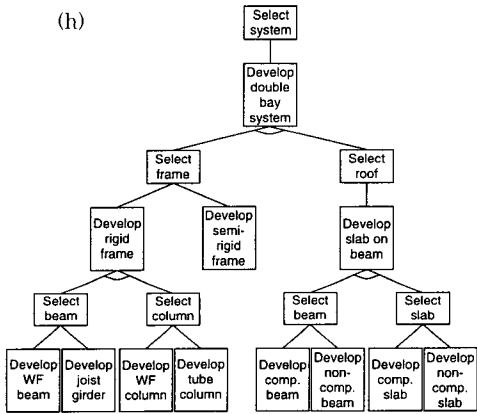
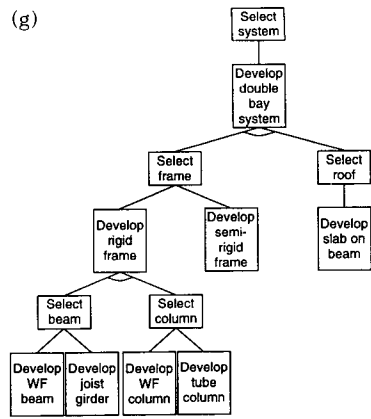
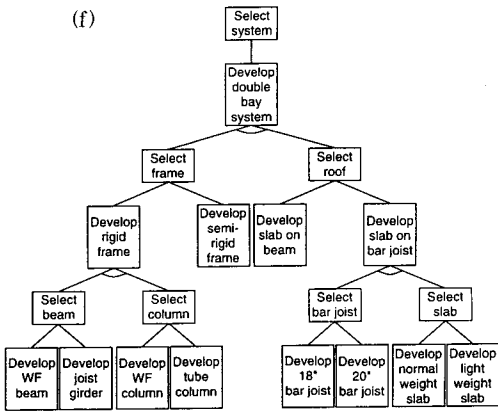


그림 4 구조설계 과정-예 2

6(그림 4f)에서 rigid frame은 basic component 계층까지 진행되었으나, semi-rigid frame은 subsystem 계층까지만 진행되었다.

둘째, 불균등하게 진행된 두 가지 alternative로부터 하나의 alternative가 select되었다. Step 4(그림 4d)에서 single bay system은 basic component 계층까지 진행되었고, double bay system은 subsystem 계층까지만 진행되었다. 이렇게 불균등하게 진행된 두 가지 alternative로부터, Step 5(그림 4e)에서 double bay system이 select되었다. Step 6(그림 4f)에서 slab on beam은 subsystem 계층까지 진행되었고, slab on bar joist는 basic component 계층까지 진행되었다. 이렇게 불균등하게 진행된 두 가지 alternative로부터, Step 7(그림 4g)에서 slab on beam이 select되었다.

셋째, 한 계층에서의 alternative들이 한 Step에서 select되지 않았다. Step 5(그림 4e)에서 rigid frame과 semi-rigid frame이 frame을 위하여 develop되었고, slab on beam과 slab on bar joist가 roof를 위하여 develop되었다. slab on beam은 Step 7(그림 4g)에서 select되었지만, rigid frame은 Step 10(그림 4j)에서 select되었다.

넷째, system이 subsystem보다 반드시 먼저 select되지는 않고, subsystem이 basic component보다 반드시 먼저 select되지는 않는다. Step 5(그림 4e)에서 double bay system이 system으로서 select되기 전에, Step 3(그림 4c)에서 rigid frame이 frame subsystem으로서 select되었다. Step 10(그림 4j)에서 rigid frame이 select되기 전에, Step 9(그림 4i)에서 WF beam과 WF column이 select되었다.

#### 4. 다른 경우의 구조설계 과정

그림 3과 그림 4는 여러 가지 가능한 설계과정 중에서 두 가지 예만을 나타낸 것이다. 이 예들에서는, 하나의 system을 위하여 두 가지 alternative가 develop되었고, 하나의 subsystem을 위하여 두 가지 alternative가 develop되었고, 하

나의 basic component를 위하여 두 가지 alternative가 develop되었다. 한 가지 alternative가 eliminate되면, 자동적으로 다른 alternative가 select되어진다.

그러나, 일반적으로 하나의 system을 위하여 여러 가지의 alternative가 develop될 수 있고, 하나의 subsystem을 위하여 여러 가지의 alternative가 develop될 수 있고, 하나의 basic component를 위하여 여러 가지의 alternative가 develop될 수 있다. 이와 같이 여러 가지 alternative가 develop될 때에 한 가지 alternative가 한 번에 select되지 않는다. 예를 들어서, system을 위하여 네 가지의 alternative가 develop되었다고 하자. 한 Step에서 한 가지 alternative가 eliminate될 수 있고, 다른 한 Step에서 한 가지 alternative가 eliminate될 수 있고, 또 다른 한 Step에서 한 가지 alternative가 eliminate되고서, 최종적으로 한 가지 alternative가 select될 수 있다. 물론 여러 가지 alternative가 있을 때도, 한 Step에서 최종적인 한 가지 alternative가 select될 수도 있다.

여러 가지 alternative가 존재할 때에, 이러한 alternative가 한 Step에 모두 develop될 필요는 없다. 예를 들어서, system을 위하여 네 가지의 alternative가 develop되었다고 하자. 한 Step에서 세 가지 alternative가 develop될 수 있고, 다른 한 Step에서 나머지 한 가지 alternative가 develop될 수 있다. 물론 여러 가지 alternative가 있을 때도, 한 Step에서 모든 alternative가 develop될 수도 있다. 이와 같이 여러 가지 alternative가 존재할 때에, 이 alternative들은 여러 Step에 걸쳐서 develop될 수 있고, 여러 Step에 걸쳐서 최종적인 한 가지 alternative가 select될 수 있다.

#### 5. 요약

본 기사에서는 간단한 구조물에 대한 구조설계 과정의 예에 대하여 살펴보았다. 구조설계 과정은 MSD model의 개념을 이용하여 표시하였다.



그러나 MSD model은 구체적인 설계과정의 표기법을 포함하지는 않는다. 실제의 구조설계 과정은 본 기사에서 나타난 것보다는 더욱 복잡하고, 이를 위하여 질서정연하게 구조설계과정을 표시할 수 있는 표기법을 가진 model이 필요하게 된다. 지금까지 여러 연구자들에 의하여 설계과정의 다양성을 표현하기 위한 model들이 제안되어 왔으며, 본 기사에서 설명된 MSD model과 관련된 것으로는 Context-Free Grammar를 이용한 설계과정 표기법<sup>5)</sup>이 있다. 이 표기법은 개체형 통합설계모델<sup>4)</sup>의 일부로서 개발되었다.

### 참 고 문 헌

1. Sanvido, V. E., Kumara, S., and Ham, I., "A Top-Down Approach to Integrating the Building Process," *Engineering with Computers*, 5, pp. 91-103, 1989
2. Sause, R. and Powell, G. H., "A Design Process Model for Computer Integrated Structural Engineering," *Engineering with Computers*, 6, pp. 129-143, 1990
3. Phan, D. H. D. and Howard H. C., "Functional Analysis using Partitioned Engineering Data Flow Model," *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 8(1), pp. 2-19, 1994
4. Lee, C.-H., Sause, R., and Hong, N. K., "Overview of Entity-Based Integrated Design Product and Process Models," *Proceedings of International Conference on Information Technology in Civil and Structural Engineering Design*, Civil-Comp Press, Edinburgh, England, pp. 185-197, 1996
5. Lee, C.-H. and Sause, R., "Sequence Control for Integrated Product and Process Models," *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 10(3), pp. 213-225, 1996 