

통합설계 모델에서의 설계 정보간의 상호 의존성

Interdependencies Among Design Information in an Integrated Design Model

이 창 호*
Lee, Chang-Ho

리차드 쏘스**
Richard Sause

이 리 형***
Lee, Li-Hyung

ABSTRACT

The development of computer integrated systems for structural design requires models to describe and organize information and activities involved in design. An entity-based integrated design model involves a number of product and process entities. Product entities and process entities describe design information and design activities, respectively. One type of relationships among entities is interaction relationships, which describe interdependencies among design information. The interaction relationships can be represented as constraints. Types of constraints include demand constraints, dependency constraints, and interaction constraints. The concepts of representing and processing demand constraints in an entity-based integrated design model are presented.

1. 서론

구조설계를 위한 컴퓨터 통합시스템(computer integrated system)의 개발을 위해서는 구조설계에 관계된 정보(information)와 작업(activity)을 질서정연하게 조직화해서 기술하는 것이 필요한데, 이를 위하여 사용되는 것이 설계 모델(design model)이다. 설계 모델의 종류에는 프로덕트 모델(product model)과 프로세스 모델(process model) 등이 있다[1]. 프로덕트 모델은 설계 과정 중에 생성되는 설계 정보를 나타내고, 프로세스 모델은 그와 관련된 설계 작업을 나타낸다. 이러한 두 종류의 모델은 하나로 통합될 수 있는데, 그 통합의 한 방법이 개체(entity)와 관계(relationship)를 이용하는 방법이다[2, 3]. 개체형 통합설계 모델(entity-based integrated design model)은 프로덕트 개체와 프로세스 개체로 구성되어있다. 프로덕트 개체는 설계 정보를 표시하고, 프로세스 개체는 설계 작업을 표시한다. 이러한 개체들 간에는 일정한 관계가 존재하는데, 그 관계에는 구성관계(organizational relationship), 상호관계(interaction relationship), 순서관계(sequence relationship) 등이 있다[1]. 구성관계는 개체들의 논리적인 정렬방법을 나타내고, 상호관계는 프로덕트 개체내의 설계 정보간의 상호 의존성을 나타내며, 순서관계는 프로세스 개체내의 설계 작업들이 시행되는 순서를 나타낸다. 본 연구는 상호관계에 대한 것이다. 상호관계는 구속조건

* 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터 연구교수

** Assoc. Prof., Dept. of Civil and Envir. Eng., Lehigh University, USA

*** 한양대학교 공과대학 건축공학부 교수

(constraint)으로 표시될 수 있는데, 요구 구속조건(demand constraint), 의존 구속조건(dependency constraint), 상호 구속조건(interaction constraint) 등의 종류가 있다[4, 5]. 본 연구에서는 요구 구속조건에 대하여 개체형 통합설계 모델을 이용한 표현방법을 설명하고자 한다.

2. 설계 계층(design level)

구조설계의 정보와 작업을 설계 모델에서 표현하기 위하여 구조물은 대개 몇 개의 설계 계층(design level)으로 구성된다. 이러한 구분의 한 예로서 시스템 계층(system level), 서브시스템 계층(subsystem level), 기본부재 계층(basic component level)이 있다[1]. 가장 하위계층의 기본부재는 하나의 단위로서 설계될 수 있는 부재를 가리키는 것으로서 보, 기둥, 슬래브, 벽 등이 이에 속한다. 이보다 상위 계층에 있는 서브시스템은 기본부재가 조합되어서 이루어지며, 예로서는 프레임 서브시스템, 플로어 서브시스템, 벽 서브시스템 등이 있다. 가장 상위계층에 있는 시스템은 서브시스템들이 조합되어서 이루어진다.

3. 설계 구속조건(design constraint)의 종류

설계 모델내의 상호관계는 설계 정보간의 상호 의존성을 나타내는데 이는 설계 구속조건으로 표시될 수 있다. 구속조건의 종류로는 요구 구속조건(demand constraint), 의존 구속조건(dependency constraint), 상호 구속조건(interaction constraint) 등이 있다[4, 5]. 프레임 설계의 경우 요구 구속조건은 하위계층에 있는 부재의 설계조건이 상위계층에 있는 프레임의 설계조건으로부터 표시될 수 있도록 한다. 의존 구속조건과 상호 구속조건은 부재의 설계 정보간의 상호성을 표시한다. 이러한 세 가지 구속조건이 그림 1의 강접합 프레임 1(rigid frame 1)을 이용하여 설명된다. 그림 2는 세 가지 구속조건의 예를 보여주고 있다.

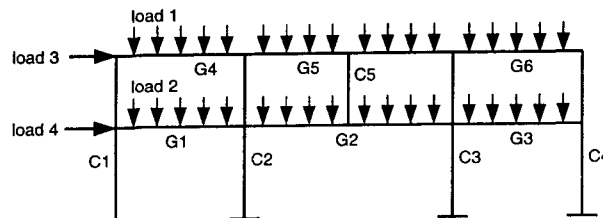


그림 1. 강접합 프레임 1(rigid frame 1)

3.1 요구 구속조건(demand constraint)

그림 1의 강접합 프레임 1(rigid frame 1)은 G1과 같은 보와 C1과 같은 기둥으로 분해될 수 있다. 가해진 하중에 대하여 구조해석을 하면 보와 기둥에 작용하는 부재력(force)을 구할 수 있다. 그림 2a는 G1 보와 C1 기둥에 작용하는 부재력을 표시하고 있다. C1 기둥은 2개 층에 걸쳐있지만, 구조해석에서는 각 층의 기둥에 대한 부재력을 구하게된다. 그림에 나타난 부재력은 G1 보와 C1 기둥에 요구 구속조건으로 작용하게된다. 보와 기둥의 부재는 이러한 요구 구속조건을 만족시키도록 설계되어야한다.

3.2 의존 구속조건(dependency constraint)

그림 2b는 G1 보의 의존 구속조건의 한 예를 나타낸다. 그림 1의 강접합 프레임 1(rigid frame 1)의 보와 기둥의 배치(layout)가 정해질 때 G1 보의 스패ンは 양쪽 기둥의 중심선에서 중심선까지의 길이로 정해진다. 기둥의 설계가 진행되면 기둥의 폭이 정해지고, 보의 길이는 기둥의 폭을 고려해서 다시 정해지게된다. 이렇게, 보의 길이는 기둥의 폭에 의존하게된다. 엄밀히 말하면,

정확한 보의 길이는 접합부의 상세 등과 같은 다른 것과는 관계가 된다.

3.3 상호 구속조건(interaction constraint)

프레임 설계에서의 상호 구속조건은 한 예가 그림 2c에 나타나 있다. 보통의 모멘트저항 철골조의 보-기둥 접합부에서는 보의 중심선이 기둥의 플렌지 면에 수직하게 되고, 보의 플렌지 폭은 기둥의 플렌지 폭보다 작아야 한다. 그림 2c에서 G1 보의 플렌지 폭은 C1 기둥의 플렌지 폭보다 작아야 한다. 보가 먼저 설계된다면 보의 플렌지 폭이 결정되고, 이 폭이 기둥설계에 구속조건으로 작용된다. 기둥이 먼저 설계된다면 기둥의 폭이 결정되고, 이 폭이 보 설계에 구속조건으로 작용된다.

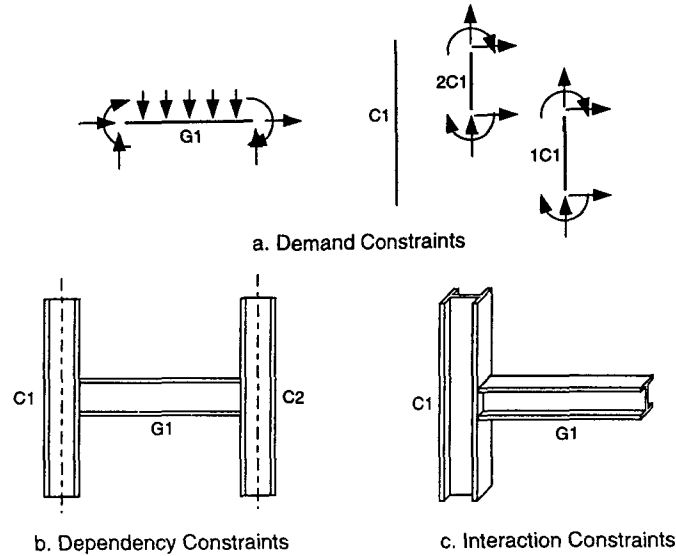


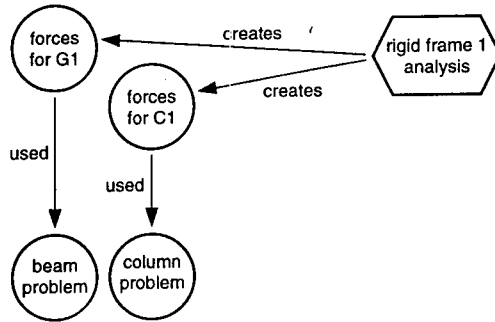
그림 2. 설계 구속조건(design constraint)의 종류

3.4 구속조건들의 비교

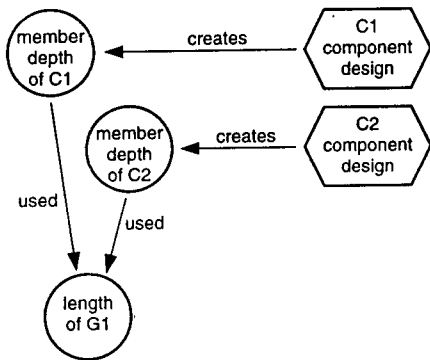
그림 3은 세 가지의 구속조건들을 비교하고 있다. 그림에서 원은 설계 정보를 표시하며, 육각형은 설계 작업을 표시한다. 그림 3a에서 G1 보와 C1 기둥의 부재력(force)은 강접합 프레임 1의 구조해석(rigid frame 1 analysis)을 통해서 결정된다. 이 부재력은 보 설계문제(beam problem)와 기둥 설계문제(column problem)를 이루는데 이용된다. 즉, 프레임 계층에서 생성된 설계 정보가 기본부재 계층에 이용되었다. 의존 구속조건과 상호 구속조건은 기본부재 계층에서의 상호성을 표시한다. 그림 3b에서 C1 기둥의 폭(member depth)과 C2 기둥의 폭이 각각 C1 기둥 설계(component design)와 C2 기둥 설계로부터 결정되었다. 두 기둥의 폭이 G1 보의 길이를 결정하는데 이용되었다. 따라서 보의 길이는 기둥의 폭에 의존하게 된다. 그림 3c의 상호 구속조건에서는 보의 플렌지 폭과 기둥의 플렌지 폭이 서로 의존하게 된다. 만일 G1 보의 플렌지 폭이 G1 보 설계 의하여 먼저 정해지면 이 폭이 C1 기둥 설계에 의해 이용되고 이에 따라서 C1 기둥의 플렌지 폭이 결정된다. 만일 C1 기둥의 플렌지 폭이 C1 기둥 설계에 의하여 정해지면 이 폭이 G1 보 설계에 이용되며 이에 따라서 G1 보의 플렌지 폭이 결정된다.

4. 요구 구속조건들의 표현

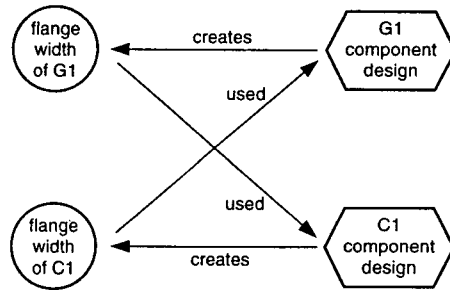
그림 2와 그림 3에 나타난 설계 구속조건들은 개체형 통합설계 모델에서 표현될 수 있다. 그림 2a와 그림 3a의 요구 구속조건을 개체형 통합설계 모델을 위한 표기법[2, 3]을 이용하여 표현하면 그림 4와 그림 5와 같다. 먼저 그림 4를 살펴보도록 하자. 그림 4는 요구 구속조건을 표현하는데



a. Demand Constraints



b. Dependency Constraints



c. Interaction Constraints

○ Information ⬡ Activity

그림 3. 설계 구속조건(design constraint)의 비교

관련된 프로덕트 개체군(product entity category)과 프로세스 개체군(process entity category)을 나타낸다. 그림 4a의 프로덕트 개체군은 요구 구속조건을 표현하는데 관련된 설계 정보를 나타내고, 그림 4b의 프로세스 개체군은 설계 작업을 나타낸다. 여기서 개체군(entity category)은 여러 가지 개체(entity)가 생성될 수 있는 군(category)을 말한다. 그림에서 각각의 사각형이 프로덕트 개체군 또는 프로세스 개체군을 표시한다. 각 개체군의 속성(attribute)은 사각형 아래 수평선과 함께 나열되어 있다. 상하 한 쌍의 점은 속성이 생략되었음을 의미한다. 만일 속성이 단일 값을 갖는(single-valued) 속성이면 수평선의 끝이 흰색 원이 되고, 속성이 복수 값을 갖는(multiple-valued) 속성이면 수평선의 끝이 검은 색 원이 된다. 속성의 종류표시는 괄호 속에 있다. “B”는 기본 속성(base attribute)을 의미한다. “OEVA”는 객체적 속성(object entity-valued attribute)을 의미하며, “AEVA”는 작업적 속성(activity entity-valued attribute)을 의미한다. 속성의 값(value)의 형태는 모난 괄호([])에 표시되어 있다.

그림 4a에서 보 설계조건(beam design requirement) 개체군과 기둥 설계조건(column design requirement) 개체군은 각각 보 설계와 기둥 설계를 위한 조건들을 표현한다[2]. 각 개체는 부재력(force) 속성을 포함하고 있다. 보 설계조건 개체와 기둥 설계조건 개체는 보 설계문제(beam problem) 개체와 기둥 설계문제(column problem) 개체와 연결되어 있다. 이러한 연결을 통하여 보 설계조건과 기둥 설계조건 개체군내의 부재력(force) 속성의 값들이 보 설계문제 개체와 기둥

설계문제 개체내의 부재력 속성의 값을 결정하는데 이용된다. 보 설계문제 개체와 기둥 설계문제 개체내의 부재력 속성의 값들은 보 설계와 기둥 설계에 이용된다. 그림 4b의 강접합 프레임 분해 개발(rigid frame decomposition development) 개체군은 강접합 프레임을 부재들로 분해하고, 해석하며, 그 부재들을 설계하는 작업을 나타낸다[5]. 이 개체군은 요구 구속조건의 표현과 관련된 속성들도 포함하고 있다. 구조해석(analysis) 속성은 보와 기둥의 설계조건들을 결정한다. 부재 그룹핑(component grouping) 속성은 유사한 설계조건을 가진 부재들을 하나의 그룹으로 만든다.

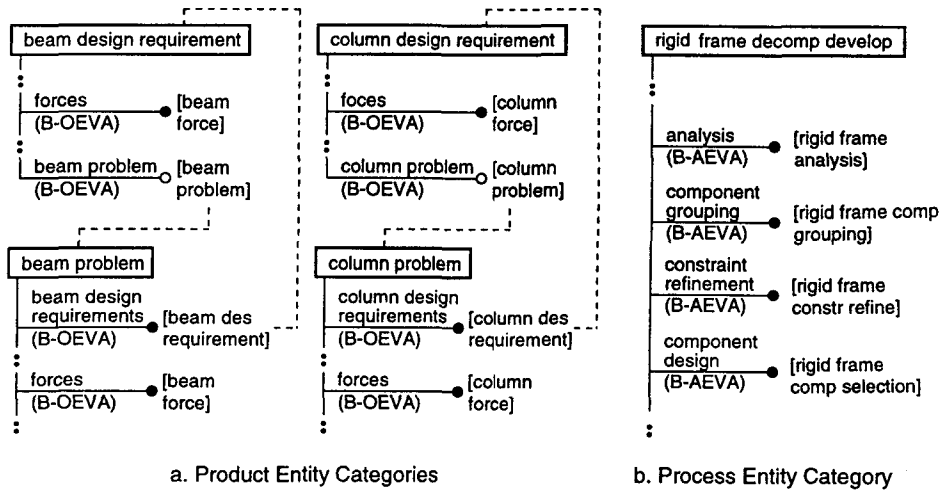


그림 4. 요구 구속조건(demand constraint)의 표현을 위한 프로덕트 개체군(product entity category)과 프로세스 개체군(process entity category)

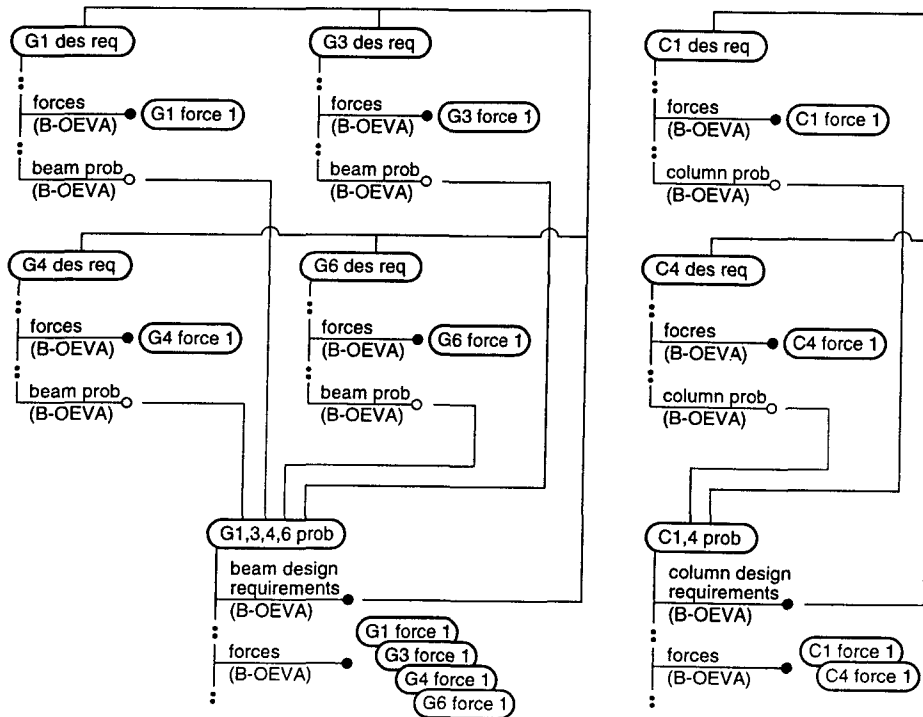


그림 5. 요구 구속조건(demand constraint)의 표현을 위한 프로덕트 개체(product entity)

구속조건 개선(constraint refinement) 속성은 요구 구속조건과는 직접적인 관련은 없고, 상호 구속조건을 위한 것이다. 부재 설계(component design) 속성은 보와 기둥의 설계를 시행한다.

그림 5는 그림 2a와 그림 3a에 나타난 G1 보와 C1 기둥의 요구 구속조건을 표현하는데 이용된 프로덕트 개체를 나타낸다. 모서리가 둥근 사각형이 프로덕트 개체를 의미한다. 그림 5의 프로덕트 개체들은 그림 4a의 프로덕트 개체군으로부터 온 것이다. 예를 들어, 그림 5a1의 G1 보 설계조건(G1 design requirement), G3 보 설계조건, G4 보 설계조건, G6 보 설계조건 개체들은 그림 4a의 보 설계조건(beam design requirement) 개체군으로부터 온 것이다. 그림 5에는 G1 보 설계조건(G1 design requirement) 개체와 C1 기둥 설계조건 개체를 포함하여 다른 설계조건 개체들도 포함되어 있다. 그 이유는 설계과정 중에 G1 보가 다른 보들과 한 그룹이 되었고, C1 기둥도 다른 기둥들과 한 그룹이 되었기 때문이다. G1 보 설계조건, G3 보 설계조건, G4 보 설계조건, G6 보 설계조건 개체들은 G1 부재력 1(G1 force 1), G3 부재력 1, G4 부재력 1, G6 부재력 1 개체들을 부재력 속성의 값들로서 가지고 있다. 설계조건 개체들은 G1,3,4,6 설계문제(G1,3,4,6 problem) 개체와 연결되어 있다. 설계조건 개체들의 G1 부재력 1, G3 부재력 1, G4 부재력 1, G6 부재력 1 개체들은 G1,3,4,6 설계문제 개체의 G1 부재력 1, G3 부재력 1, G4 부재력 1, G6 부재력 1 개체들을 생성하는데 이용되었다. 한 그룹으로 된 G1,3,4,6 보들을 위한 부재는 G1 부재력 1, G3 부재력 1, G4 부재력 1, G6 부재력 1 개체들이 표시하는 부재력들을 만족하도록 설계되어야 한다. 같은 방법으로 C1 설계조건(C1 design requirement) 개체와 C4 설계조건 개체는 C1 부재력 1(C1 force 1), C4 부재력 1 개체들을 부재력 속성의 값들로서 가지고 있다. 설계조건 개체들은 C1,4 설계문제(C1,4 problem) 개체와 연결되어 있다. 설계조건 개체들의 C1 부재력 1, C4 부재력 1 개체들은 C1,4 설계문제 개체의 C1 부재력 1, C4 부재력 1 개체들을 생성하는데 이용되었다.

5. 요구 구속조건 의 흐름

그림 2a와 그림 3a의 G1 보와 C1 기둥에 작용하는 요구 구속조건은 프레임 계층에서 형성이 되어서 기본부재 계층으로 부과된다. 그림 6은 이 요구 구속조건의 흐름을 세 단계로 나타내고 있다. 그림 6a1과 6b1은 1 단계를, 그림 6a2와 6b2는 2 단계를, 그림 6a3과 6b3은 3 단계를 나타낸다. 그림 6a는 프로덕트 개체를 나타내며, 그림 6b는 프로세스 개체를 나타낸다. 그림 6의 프로덕트 개체와 프로세스 개체는 그림 4의 프로덕트 개체군과 프로세스 개체군으로부터 생성된 것이다. 모서리가 둥근 사각형은 프로덕트 개체 또는 프로세스 개체를 나타낸다. 굵은 선으로 표시된 것은 각 단계에서 생성된 프로덕트 개체 또는 시행된 프로세스 개체를 의미한다.

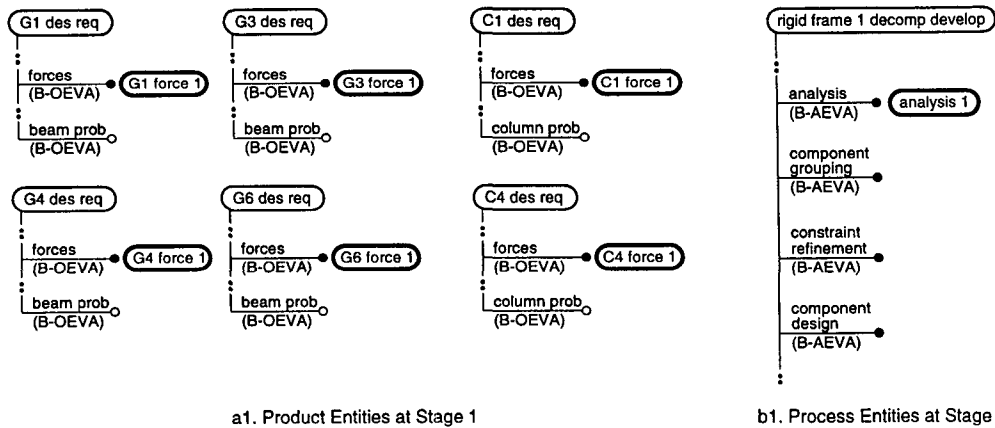
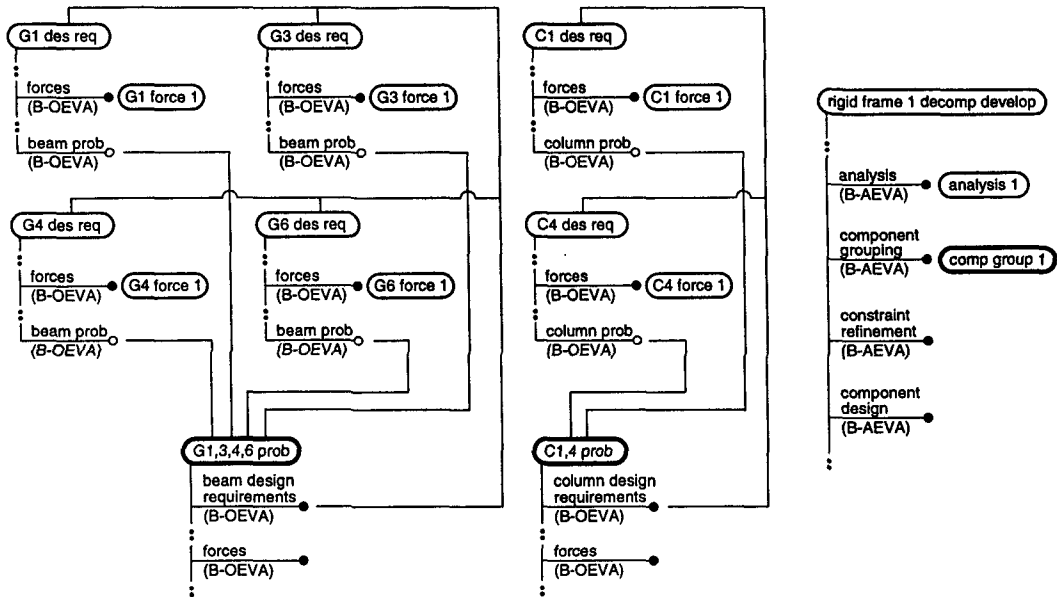
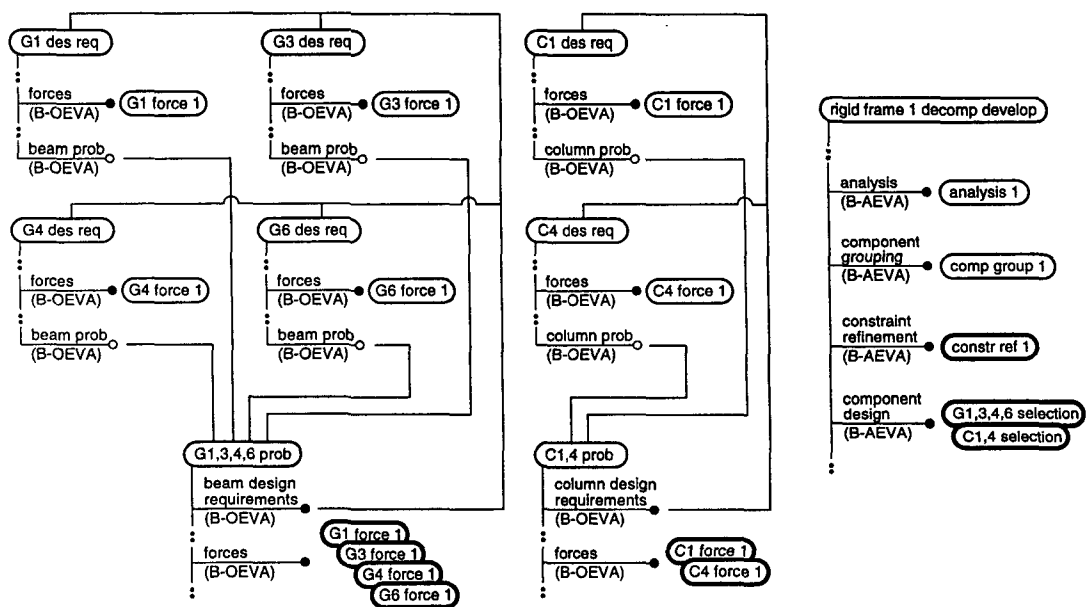


그림 6. 요구 구속조건(demand constraint)의 흐름의 예



a2. Product Entities at Stage 2

b2. Process Entities at Stage 2



a3. Product Entities at Stage 3

b3. Process Entities at Stage 3

그림 6. 요구 구속조건(demand constraint)의 흐름의 예(계속)

(1) 1 단계(그림 6a1, 6b1): G1 보 설계 조건(G1 design requirement), G3 보 설계 조건, G4 보 설계조건, G6 보 설계조건 개체들은 부재력(force) 속성을 포함하고 있다. C1 기둥 설계조건, C4 기둥 설계조건 개체들도 부재력 속성을 포함하고 있다. 이 속성들의 값들이 강접합 프레임 1 분해 개발(rigid frame 1 decomposition development)[5] 개체의 구조해석(analysis) 속성 값이 시행됨으로서 생성된다.

(2) 2 단계(그림 6a2, 6b2): 부재 그룹핑(component grouping) 속성 값이 시행이 되고, G1, G3, G4, G6 보들이 한 그룹으로 되었으며 G1,3,4,6 설계문제(G1,3,4,6 problem) 개체가 생성되었다. 그리고 각 보의 설계조건 개체가 G1,3,4,6 설계문제 개체와 연결되었다. 같은 방법으로 C1, C4 기둥들이 다른 한 그룹으로 되었으며, C1,4 설계문제 개체가 생성되었다. 그리고 각 기둥의 설계조건 개체가 C1,4 설계문제 개체와 연결되었다.

(3) 3 단계(그림 6a3, 6b3): 이 단계에서는 구속조건 개선(constraint refinement) 속성과 부재 설계(component design) 속성 값이 시행되었다. G1,3,4,6 개체와 C1,4 개체의 부재력(force) 속성의 값들이 부재 설계 속성 값에 의하여 생성되었다.

위의 예는 가장 간단한 경우의 요구 구속조건의 흐름을 설명하고 있다. 만일 하중조건 등이 바뀌면 새로운 구조해석 속성 값이 시행이 되며, 새로운 요구 구속조건이 보와 기둥 설계에 부과된다. 보와 기둥의 그룹이 바뀔 수도 있다. 이 경우 새로운 부재 그룹핑 속성 값이 시행이 되며, 새로운 요구 구속조건이 보와 기둥 설계에 부과된다. 이와 같이 구조설계 과정 중에 요구 구속조건은 반복적으로 수정되어서 보와 기둥 설계에 부과될 수 있다.

6. 결론

설계 모델은 컴퓨터 통합시스템의 개발을 위한 이론적인 기초를 제공한다. 실제의 구조설계는 여러 가지 형태의 설계 정보와 작업을 포함하는데 이를 질서정연하게 표현하기 위한 것이 바로 설계 모델이다. 설계 모델에서의 설계 정보간에는 상호의존성이 있다. 이 상호의존성은 구속조건으로 표시될 수 있다. 구속조건의 종류로는 요구 구속조건, 의존 구속조건, 상호 구속조건 등이 있다. 본 연구에서는 프레임 설계에 있어서 요구 구속조건을 개체형 통합설계 모델을 이용하여 표현하였다. 요구 구속조건은 프레임의 해석으로부터 형성되어져서 보와 기둥의 설계조건으로 부과된다.

감사의 글

본 연구는 미국 리하이대학(Lehigh Univ.)의 아틀라스센터(ATLSS Center, Engineering Research Center for Advanced Technology for Large Structural Systems)의 지원으로 시작되었으며, 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원으로 계속되고 있습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] Sause, R., Martini, K., and Powell, G. H., "Object-Oriented Approaches for Integrated Engineering Design Systems," *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 6(3), pp. 248-265, 1992.
- [2] Hong, N. K. and Sause, R., "Concepts and Notation for Integrated Structural Design: Product and Process Models," NSF-ERC ATLSS Report No. 94-13, Lehigh University, PA, USA, 1994.
- [3] 김 남희, "개체형 모델링(Entity-Based Approach)에 의한 통합설계 시스템(Integrated Computer-Aided Design Systems) 개발, 한국강구조학회지 제 8권 4호, 1996년 12월, pp. 41-53
- [4] Lee, C.-H., Sause, R., and Hong, N. K., "Overview of Entity-Based Integrated Design Product and Process Models," *Proc., Int. Conf. on Information Technol. in Civil and Struct. Engrg. Des.*, Civil-Comp Press, Edinburgh, England, pp. 185-197, 1996.
- [5] Lee, C.-H. and Sause, R., "Integrated Design Product and Process Model for Building Frame Structures," NSF-ERC ATLSS Report No. 97-06, Lehigh University, PA, USA, 1997.