한국전산구조공학회
1998년도 봄학술발표회 논문집

개체형 통합모델에서의 설계 구속조건의 표현

Representation of Design Constraints in Entity-Based Integrated Model

이 창 호* 리차드 쏘스** 이 리 형***
Lee, Chang-Ho Richard Sause Lee, Li-Hyung

ABSTRACT

An entity-based integrated design model can be used to organize and represent information and activities involved in design. The model involves a number of product and process entities. Product entities describe design information, and process entities describe design activities. The relationships among entities includes organizational, interaction, and sequence relationships. The paper focuses interaction relationships among design information. The interaction relationships can be represented as constraints. Types of constraints includes demand constraints, dependency constraints, and interaction constraints. The paper describes dependency and interaction constraints. The concepts of representing and processing dependency and interaction constraints in an entity-based integrated design model are presented.

1. 서 론

건축물의 구조설계는 여러 가지 형태의 설계정보와 설계작업을 포함한다. 설계모델(design model)의 역할은 설계정보와 설계작업을 질서정연하게 표현해서 컴퓨터 시스템을 개발하기 위한 것이다. 설계모델의 종류에는 프로덕트 모델과 프로세스 모델이 포함되어 있는데, 프로덕트 모델은 설계과정 중에 생성되는 설계정보를 나타내고, 프로세스 모델은 이와 관련된 설계작업을 나타낸다.[1] 이러한 두 가지 모델은 하나로 통합될 수 있는데, 통합모델의 하나로 개발된 것이 개체형 통합설계모델(entity-based integrated design model)이다.[2],[3] 개체형 통합 설계모델은 프로덕트 개체(product entity)와 프로세스 개체(process entity)을 포함한다. 프로덕트 개체는 설계정보를 나타내고, 프로세스 개체는 설계작업을 나타낸다. 개체간에는 여러 종류의 관계가 존재하는데, 그 중의 하나가 상호관계(interaction relationships)이다.[1],[3] 상호관계는 프로덕트 개체로 표시되는 설계정보간의 상호 의존성을 나타낸다. 상호관계는 구속조건으로 표시될 수 있는데, 요구 구속조건 (demand constraints), 의존 구속조건(dependency constraints), 상호 구속조건(interaction constraints) 등이 있다. 본 논문에서는 의존 구속조건과 상호 의존조건에 대하여 기술하였다.

* 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터 연구조교수
** Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Lehigh University, USA
*** 한양대학교 건축공학부 교수

2. 설계 구속조건의 종류

설계모델내의 상호관계는 설계정보간의 상호 의존성을 나타내는데 이는 설계 구속조건으로 표시될 수 있다. 구속조건의 종류는 요구 구속조건(demand constraints), 의존 구속조건(dependency constraints), 상호 수속조건(interaction constraints) 등이 있다.[4],[5] 프레임 설계의 경우 요구 구속조건은 프레임의 설계조건으로부터 부재로 부과되는 설계조건이고, 의존 구속조건과 상호 구속조건은 부재간에 존재하는 설계조건이다.[4] 그림 1은 강접합 프레임을 나타낸다. 프레임은 G1 보와 C1 기둥 등의 부재로 이루어져있고, 여러 하중을 받고 있다. 이러한 프레임의 설계에 포함된 의존 구속조건과 상호 의존조건의 예가 그림 2에 나타나있다.

그림 2a는 의존 구속조건의 한 예를 나타내고 있다.[4] 프레임의 설계에서 보와 기둥의 배치가 정해질 때 G1 보의 스팬은 양쪽의 C1 기둥과 C2 기둥의 중심선에서 중심선까지의 길이로 정해진다. 기둥의 설계가 진행되면 기둥의 폭이 정해지고, 보의 길이는 기둥의 폭을 고려해서 다시 정해진다. 이렇게 보의 길이는 기둥의 폭에 의존한다. 이를 간단한 도형을 이용해서 나타낸 것이 그림 2a의 오른편에 있다. 원은 설계정보를 표시하며 육각형은 설계작업을 표시한다. 설계정보는 설계작업에 의하여 생성된다. C1의 member depth는 C1 component design에 의하여 생성되고, C2의 member depth는 C2 component design에 의하여 생성된다. 생성된 C1의 member depth와 C2의 member depth는 G1의 length를 결정하는데 이용된다. 즉, C1의 length는 C1의 member depth와 C2의 member depth에 의존한다.

그림 2b는 상호 구속조건의 한 예를 나타내고 있다.[4] G1 보와 C1 기둥이 접합되기 위해서는 G1보의 플랜지 폭이 C1 기둥의 플랜지 폭보다 작아야 한다. 보가 먼저 설계된다면 보의 플랜지 폭이 결정되고, 이 폭이 기둥의 설계에 구속조건으로 작용한다. 기둥이 먼저 설계된다면 기둥의 폭이 결정되고, 이 폭이 보설계에 구속조건으로 작용한다. 이러한 상호성은 그림 2b의 오른편에 나타나 있다. 만일 G1 보가 먼저 설계된다고 가정하자. G1의 flange width는 G1 component design에 의하여 생성된다. 생성된 flange width는 C1 component design에 의하여 사용되어져 C1의 flange width를 결정하게된다. 만일 C1 기둥이 먼저 설계된다고 하면 C1 component design에 의하여 C1의 flange width가 결정되고, 이 flange width가 G1 component design에 의하여 사용되어져 G1의 flange width를 결정한다. 즉, G1의 flange width와 C1의 flange width간에는 상호적인 구속조건이 존재한다.

3. 의존 구속조건의 표현

그림 2a에 나타난 의존 구속조건은 개체형 통합설계모델에서 표현될 수 있다. 그림 3, 4는 그림 2a의 의존 구속조건을 개체형 통합설계모델의 표기법[2]을 이용하여 표현한 것이다. 그림 3a, 3b는 의존 구속조건을 표현하는데 관련된 프로덕트 개체군(product entity categories)과 프로세스 개체군(process entity category)을 각각 나타낸다. 여기서 개체군(entity category)이란 개체(entity)가 생성될 수 있는 군(category)을 말한다. 그림에서 사각형이 프로덕트 개체군 또는 프로세스 개체군을 표시한다. 각 개체군의 속성(attribute)은 사각형 아래에 수평선과 함께 나열되어 있다. 상하 한 쌍의 점은 속성이 생략되었음을 의미한다. 만일 속성이 단일 값을 갖는 속성이면 수평선의 끝이 흰색 원이 되고, 속성이 복수 값을 갖는 속성이면 수평선의 끝이 검은색 원이 된다. 속성의 종류표시는 괄호 속에 있다. "B"는 기본속성(base attribute)를 의미하며, "DI"는 내부유도속성(internally derived attribute), "DE"는 외부유도속성(externally derived attribute)를 의미한다. 속성의 값의 형태는 모난 괄호([ ])에 표시되어 있다.

그림 3a에서 WF column geometry entity category의 shape designation의 값은 그림 3b의 WF column

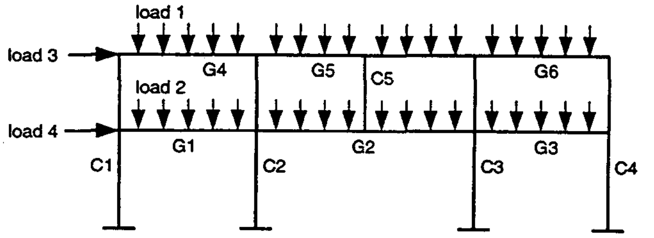
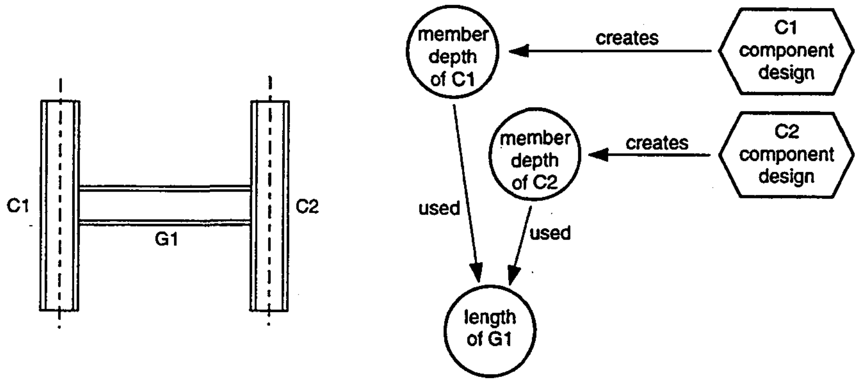
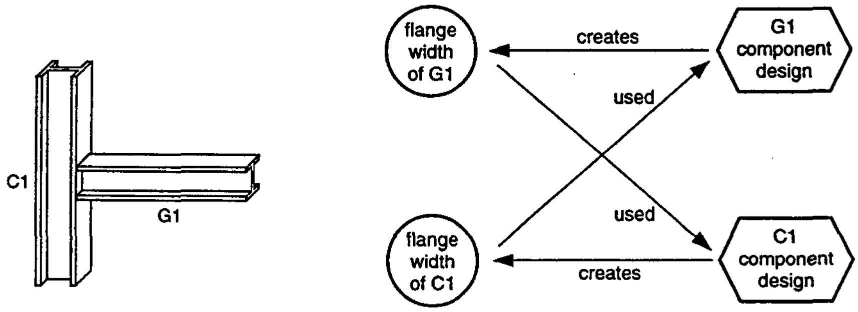


그림 1. Rigid Frame 1



a Dependency Constraints



b. Interaction Constraints

◯ Information ⬡ Activity

그림 2. Dependency Constraints and Interaction Constraints

design proposal entity category의 select shape designation에 의하여 생성된다. 생성된 shape designation으로부터 column depth의 값이 결정된다. column depth의 속성은 내부유도속성(DI, internally derived attribute)이다. 이 column depth의 값은 WF beam geometry entity category의 beam length를 결정하는데 이용된다. beam length의 속성은 외부유도속성(DE, externally derived attribute)이다. 보가 두 개의 기둥사이에 위치할 때 두 개의 column depth가 beam length를 결정하는데 이용된다.

그림 3의 entity category가 그림 2a의 의존 구속조건에 적용될 때 나타나는 entity들이 그림 4에 표시되어

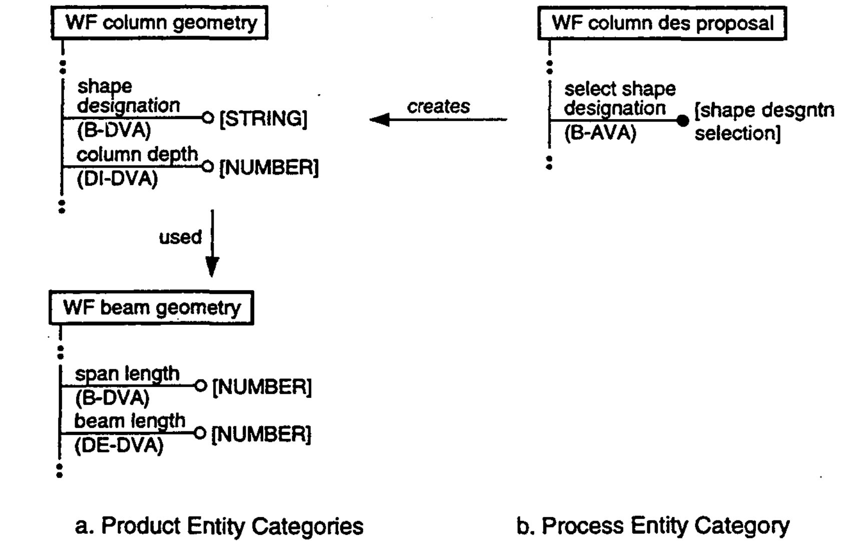


그림 3. Dependency Constraints in Product and Process Entity Categories

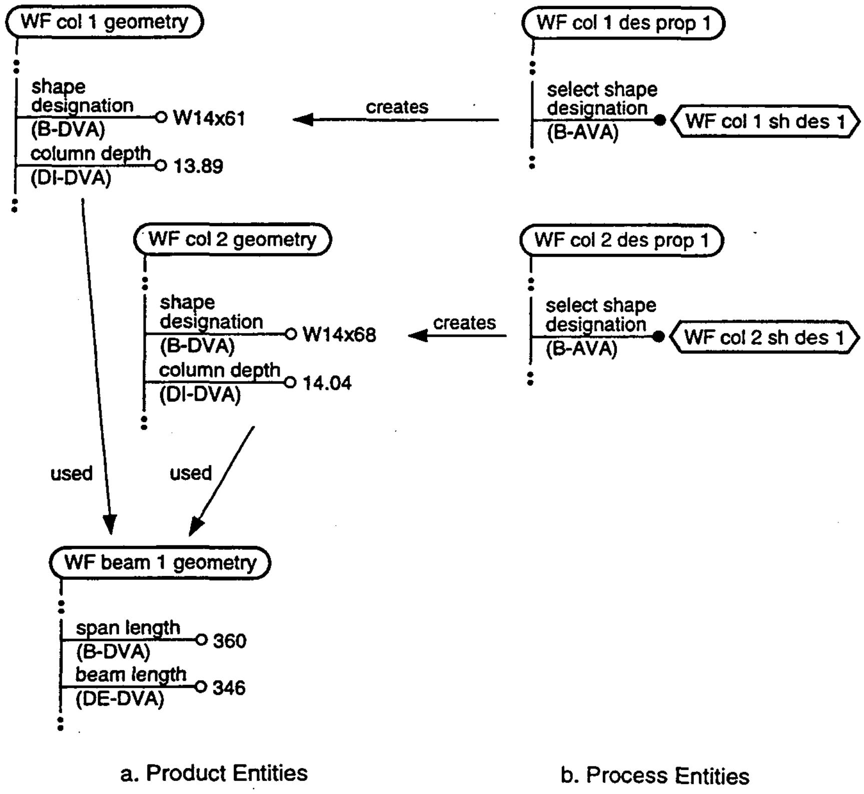


그림 4. Dependency Constraints in Product and Process Entities

있다(모서리가 둥근 사각형이 product entity 또는 process entity를 나타낸다). 예를 들어 그림 4a의 WF column 1 geometry entity와 WF column 2 geometry entity는 그림 3a의 WF column geometry entity category에서 나온 것이다. 그림 4a에서 WF column 1 geometry entity의 shape designation의 값(W14x61)은 그림 4b의 WF column 1 design proposal 1 entity의 select shape designation으로부터 생성된다. 생성된 shape designation의 값(W14x16)으로부터 column depth의 값(13.89)이 유도된다. 같은 방법으로 WF column 2 geometry entity의 column depth의 값(14.04)이 얻어진다. 이러한 두 가지 column depth의 값들이 WF beam 1 geometry entity에 이용되어서 beam length의 값(346)을 결정하는데 이용된다.

4. 상호 구속조건의 표현

그림 2b에 나타난 상호 구속조건도 개체형 통합설계모델에서 표현될 수 있다. 그림 5는 그림 2b의 상호 의존조건을 표현하는데 관련된 product entity category(그림 5a)와 process entity category(그림 5b)를 나타낸다. 그림 5a의 beam design requirement entity category는 connected column flange width 속성을 포함하는데, 이 속성은 beam과 접합된 column의 flange width를 나타낸다. beam design requirement entity category는 beam problem entity category와 연결이 되어 있어서 connected column flange width가 beam problem entity category의 constraint maximum flange width를 결정하는데 이용된다. 같은 방법으로 column design requirement entity category는 connected beam flange width 속성을 포함하고, connected beam flange width가 column problem entity category의 constraint minimum flange width를 결정하는데 이용된다.

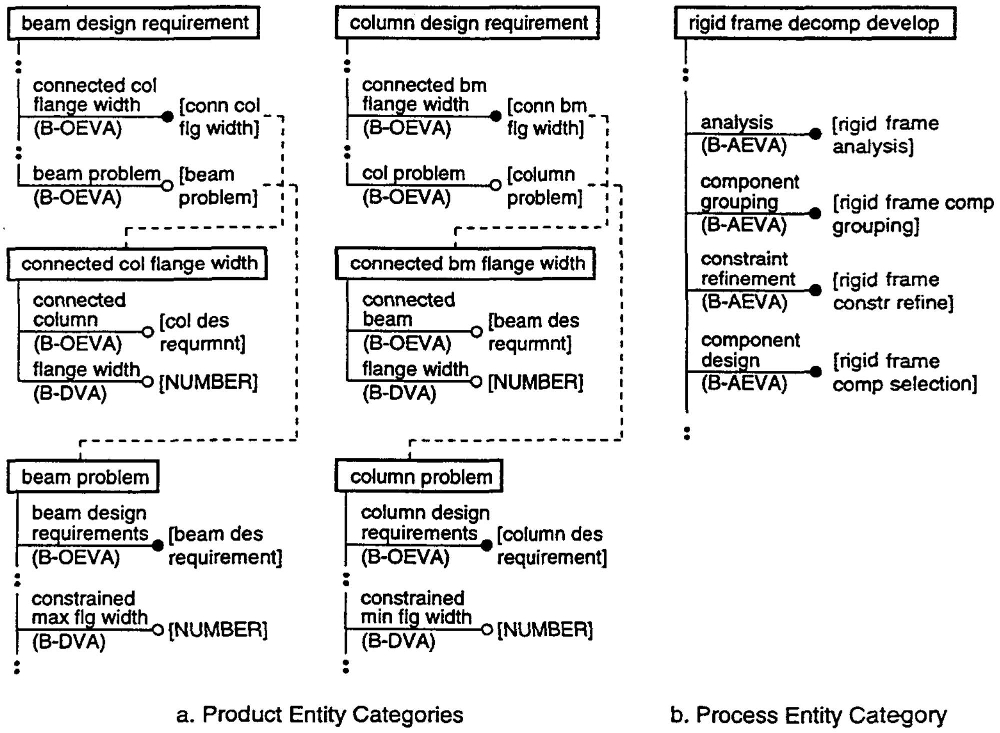


그림 5. Interaction Constraints in Product and Process Entity Categories

그림 5b는 상호 의존조건을 표현하는데 관련된 process entity category를 나타낸다. rigid frame decomposition development entity category는 프레임을 부재들로 분해하고, 해석하며, 그 부재들을 설계하는 작업을 표시한다. 보와 기둥의 접합은 analysis에 의하여 확인된다. component grouping은 유사한 설계조건을 가진 부재들을 하나의 그룹으로 만든다. constraint refinement는 설정된 설계구속조건을 refine시킨다. component design은 보와 기둥의 설계를 시행한다.

그림 2b에 나타난 G1 보와 C1 기둥 사이에 존재하는 상호 구속조건을 그림 5의 entity category를 이용하여 나타내기 위해서는 다른 보와 기둥들도 고려해야한다. 왜냐하면 G1 보는 C1 기둥과 C2 기둥과 접합이 되어있고, C1 기둥은 G1 보와 G4 보와 접합이 되어 있고, C2 기둥은 G1, G2, G4, G5 보 등과 접합이 되어 있다. 이러한 부재들은 설계과정 중에 다른 부재들과 그룹이 된다. 예를 들면, G1 보는 G3, G4, G6 보등과 그룹이 될 수 있고, C1 기둥은 C4 기둥과 그룹이 될 수 있다. 따라서 대부분의 보와 기둥이 G1 보와 C1 기둥의 상호 구속조건과 관련되어 있다. 따라서 이를 단순화 시켜서 그림 6에서 점선으로 표시한 부분만을 상호 구속조건을 표현하는데 이용하였다. G1, G4 보와 C1, C2 기둥만이 상호 구속조건에 고려되었다. 이 부재들 사이에 존재하는 상호 구속조건이 그림의 아래 부분에 나타나있다. G1 보의 width는 C1 기둥의 width보다 작아야 하며 또한 C2 기둥의 width보다 작아야 한다. G4 보의 width도 C1 기둥의 width보다 작아야 하며 또한 C2 기둥의 width보다 작아야 한다.

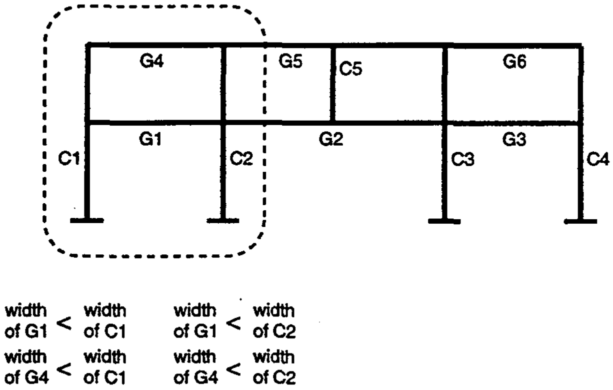


그림 6. Interaction Constraints among Beams and Columns

그림 6의 상호 의존조건의 대략적인 표현법이 그림 7에 나타나있다. 개체형 통합모델의 표기법에 의한 표현을 위해서는 여러 페이지의 그림이 필요하기 때문에[6], 설계과정 중에 생성되는 네 가지의 서로 다른 형태의 상호 의존조건의 설계정보를 정해진 표기법이 아닌 약식으로 그림 7에서 표시하였다. 그림에서 사각형들은 약식으로 product entity를 표시한 것인데, 그림 5의 product entity category들로부터 나온 것들이다. 예를 들면 그림 7a의 G1 design requirement entity와 G4 design requirement entity는 그림 5a의 beam design requirement entity category로부터 나온 것이다.

그림 7a는 각각의 부재에 대하여 표시된 상호 구속조건을 표시한다. 예를 들면 G1 design requirement는 G1에 대한 구속조건을 표시한다. 즉, G1의 width는 C1의 width보다 작아야 하고 C2의 width보다 작아야 한다. 부재가 그룹이 될 때 이러한 각 부재에 대한 구속조건도 그룹이 된다. 그림 7b는 그룹이 된 구속조건을 표시하고 있다. G1 design requirement와 G4 design requirement의 그룹된 구속조건들은 G1 보와 C1, C2 기둥간의 구속조건과 G4 보와 C1, C2 기둥간의 구속조건을 포함하고 있다. 그룹이 된 구속조건들이 그림 7c에서 refine되었다. 만일 C1, C2 기둥이 먼저 설계된다면 C1, C2의 width가 정해진다. 따라서 특정한

NUMBER의 width가 G1, G4 보의 구속조건에 표시될 수 있다(예를 들면, 그림 7c에서 width of G1 < NUMBER). C1, C4 기둥이 먼저 설계되지 않는다면 보의 width는 refine되지 않는다. 즉 C1 보와 C4 보의 구속조건은 NULL의 상태로 있게된다(예를 들면, width of G1 < NULL). 같은 방법으로 만일 G1, G4 보가 먼저 설계된다면 보의 width가 정해지고, 이 width가 C1 design requirement와 C2 design requirement의 구속조건을 refine시키는데 이용된다. refine된 구속조건들은 그림 7d에서 constrained width를 정하는데 부과된다. 예를 들어 그림 7c에서 G1, G4 기둥의 구속조건들이 특정한 NUMBER들로 표시가 되었다면 이 NUMBER들 중에서 가장 작은 값이 그림 7c에서 기둥의 constrained maximum width로 부과되고, 이 조건을 만족시키도록 보가 설계된다.

그림 7에 나타난 네 가지 형태의 상호 의존조건은 그림 5b의 rigid frame decomposition development entity category의 네 가지 속성에 의하여 생성된다. 그림 7a의 각 부재에 대한 구속조건들은 그림 5b의 analysis에 의하여 생성된다. 그림 7b의 그룹이 된 구속조건, 그림 7c의 refine된 구속조건, 그림 7d의 보와

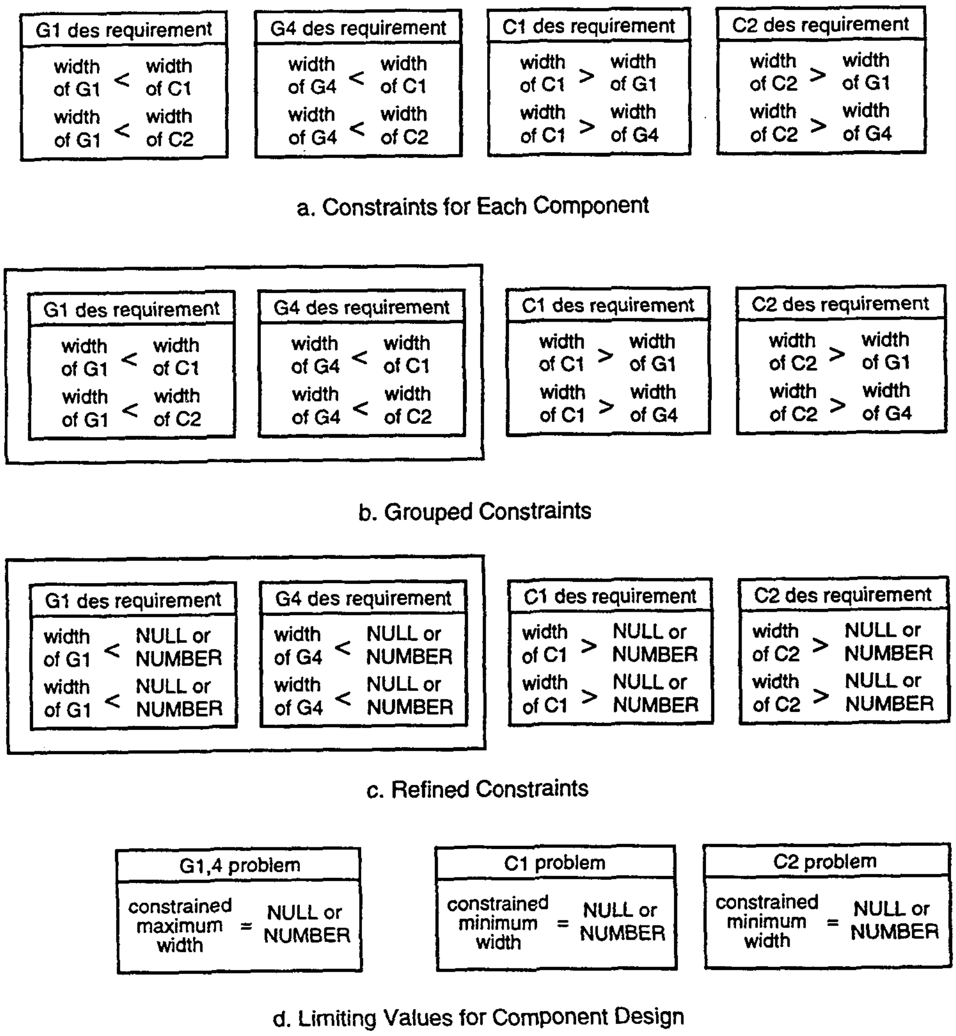


그림 7. Different Representation of Interaction Constraints

기둥에 대한 limiting value는 각각 그림 5b의 component grouping, constraint refinement, component design 에 의하여 생성된다.

그림 7에 나타난 네 가지 형태의 상호 구속조건은 설계과정 중에 여러 번 반복해서 형성될 수 있다. 예를 들어 부재의 그룹이 바뀌게되면 그림 7b의 그룹이 된 구속조건은 바뀌게 되고, 그림 7c의 refine된 구속조건 들도 바뀌고, 그림 7d의 limiting value 들도 바뀐다. 이 limiting value들이 보와 기둥의 설계에 부과된다. 보와 기둥이 설계될 때 보가 먼저 설계되는가 또는 기둥이 먼저 설계되느냐에 따라서 그림 7c의 refine된 구속조건들이 바뀌게된다. 이에 따라 그림 7d의 limiting value들도 바뀌고, 이 limiting value들이 보와 기둥의 설계에 다시 부과된다.

5. 결론

개체형 통합설계모델은 구조설계에 포함된 설계정보와 설계작업을 질서정연하게 표현하기 위한 목적으로 개발되었다. 프로덕트 개체로 표시되는 설계정보는 상호의존성을 갖는데, 이러한 상호 의존성은 설계구속조건으로서 표현될 수 있다. 본 논문에서는 의존 구속조건과 상호 구속조건을 프레임설계의 예에 대하여 개체형 통합설계모델의 표기법을 이용하여 설명하였다. 의존 구속조건은 일방향적인 구속조건으로, 상호 구속조건은 양방향적인 구속조건으로서 이해될 수 있다. 상호 구속조건의 경우 설계작업이 어떻게 시행되는가의 순서에 따라서 설계 구속조건이 부과되는 방향이 정해지게된다. 설계과정이 계속됨에 따라서 상호 구속조건은 여러 방향으로 반복적으로 부과될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것으로서 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 Hong, S., "Entity-Based Models for Computer-Aided Design Systems," *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 12(1), pp. 1-12, 1998.

[3] 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. Deg.*, Civil-Comp Press, Edinburgh, England, pp. 185-197, 1996.

[4] 이 창호, Sause, R., 이 리형, "통합설계 모델에서의 설계정보간의 상호 의존성," 한국전산구조공학회 1997년 가을 학술발표회 논문집, pp. 189-196, 1997.

[5] Lee, C.-H. and Sause, R., "Interactions Among Deisgn Information in an Integrated Structural Design Model," *Seventh Int. Conf. on Comp. in Civil and Bldg. Engrg.*, pp. 1491-1496, 1997.

[6] Lee, C.-H., "Integrated Design Product and Process Model for Building Frame Structures," Ph.D. Dissertation, Lehigh University, Bethlehem, PA, USA, 1997.