

초고층건축 알루미늄커튼월 구조설계검토 프로세스와 매뉴얼 개발에 관한 연구: 멀리언과 트랜섬을 중심으로

A Study on the Development of the Structural Performance Evaluation Manual of the Skyscrapers Curtain Wall Systems for Construction Managers

조 예 원* 이 민 철** 옥 종 호***
 Cho, Ye-Won Lee, Min-Cheol Ock, Jong-Ho

요 약

초고층건물의 외장재로 많이 사용되고 있는 자재는 경량이면서도 실내환경 영향요소의 흐름을 조절/차단하는 필터기능이 탁월한 알루미늄 커튼월이다. 초고층건물 커튼월의 설계와 관련된 CMr의 역할에는 커튼월의 구조적 적정성 검토가 포함되며 이를 위해서는 커튼월을 구성하고 있는 각종 자재들의 물성, 다양한 커튼월시스템 구성방식의 이해와 더불어 구조설계가 필요한 구조부재의 종류, 구조설계 프로세스, 적정성 판단 설계요소 등에 대한 복합적 이해가 필수적이다. 본 연구는 CMr가 커튼월 구조설계의 적정성을 간편하게 검토할 수 있는 구조설계 검토프로세스를 도출하고 커튼월 구조부재인 멀리언(수직재), 트랜섬(수평재) 구조설계의 적정성을 쉽게 검토할 수 있는 구조설계검토 매뉴얼 개발을 목적으로 한다. 개발된 매뉴얼의 적용성을 검토하기 위해 동 매뉴얼을 실제 커튼월 설계프로젝트에 적용하여 보았으며 커튼월 설계전문가 및 CMr와 워크샵 실시하여 매뉴얼의 개선방향을 모색하였다.

키워드: 커튼월, 유니트시스템, 초고층건축, 구조설계 적정성, 멀리언, 트랜섬, 앵커부위, 구조설계검토 프로세스, 구조설계검토 매뉴얼

1. 서론

1.1 연구의 배경

최근 대도시를 중심으로 건축되고 있는 초고층건물들은 해당 지역의 랜드마크로 인식되고 있으며 그에 따라 이들 건축물의 구조적 안정과 더불어 다양하고 미려한 외관 조성에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 초고층건물의 외장재로 많이 사용되고 있는 자재는 경량이면서도 실내환경 영향요소의 흐름을 조절/차단하는 필터기능이 탁월한 알루미늄 커튼월(이하 커튼월)이다. 선행연구에 따르면 초고층건축공사비의 약 10% 정도가 커튼월

공사에 투입되고 있으며 초고층건물에서 사용되는 에너지의 35~40%가 커튼월을 통해 소비되고 있어, 경제적인 커튼월 설계 및 시공이 초고층건물 프로젝트 경제성에 미치는 영향은 향후 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(최효석 2007).

최근 정부가 발표한 제3차 건설산업진흥기본계획(2008-2012)에 따르면 현재 국내 건설산업에서 적용되고 있는 용역형 CM(CM For Fee) 방식과 함께 책임형 CM(CM at Risk) 방식이 향후 5년 이내에 시행될 것으로 전망된다(한국건설산업연구원 2008). 이러한 건설정책과 최근의 초고층건설 경향을 감안할 때, 건설사업관리자(Construction Manager, 이하 CMr)의 초고층건설 전반에 걸친 기술경쟁력 제고가 필요한 시점이라 할 것이다.

초고층건물 커튼월의 설계와 관련된 CMr의 역할에는 구조적 안정성, 미려성, 실내환경 쾌적성, 유지관리 경제성 등과 관련한 설계타당성 검토와 가치공학적 분석을 통한 설계개선안 제시 등이 포함된다. 특히 초고층인 관계로 작용하는 풍하중이 대단히

* 일반회원, 서울산업대학교 주택대학원 석사과정
 yw0208@lycos.co.kr
 ** 일반회원, 서울산업대학교 주택대학원 석사과정
 mc8208@naver.com
 *** 중신회원, 서울산업대학교 건축학부 교수, 공학박사(교신저자),
 ockjh@snut.ac.kr

크기 때문에 CMr의 커튼월 구조설계 적정성 검토는 커튼월의 안전성 확보를 위하여 대단히 중요한 역할 중 하나이다.

CMr가 커튼월 구조설계의 적정성 여부를 판단하기 위해서는 커튼월을 구성하고 있는 각종 자재들의 물성, 다양한 커튼월시스템 구성방식의 이해와 더불어 구조설계가 필요한 구조부재의 종류, 구조설계 프로세스, 적정성 판단 설계요소 등에 대한 복합적 이해가 필수적이다.

그러나 그동안 많은 대규모 건설기업이나 설계업체들은 커튼월 공종을 단종의 전문건설업 영역으로 간주하고 자체 기술력 축적에 소홀하였으며 결과적으로 구조설계를 포함하는 국내 커튼월 설계 관련 자료나 정보 등은 일부 커튼월 설계전문기업이나 제조업체 또는 컨설팅기업 내에서 In-House 또는 In-Person 형태로 관리되고 있을 뿐 CMr들이 자유롭게 참조하고 활용할 수 있도록 건설산업 전반에 걸쳐 공유되지 못하고 있는 상황이다. 더군다나 현재 커튼월의 구조설계를 규율하는 규준을 살펴보면 설계하중이 되는 풍압의 경우만 우리나라 지역 및 조건에 따른 산정방식이 존재할 뿐 다른 설계항목에 대해서는 국내 기준없이 미국커튼월협회(American Architectural Manufacturers Association : AAMA) 기준을 사용하고 있어, 커튼월의 구조설계 프로세스나 설계 항목에 익숙하지 못한 CMr 들이 커튼월의 구조설계 타당성을 검토하여 가치공학적 대안을 제시하기는 대단히 어려운 실정으로, 간편하게 참조할 수 있을 뿐 만 아니라 커튼월 구조분야의 이해를 위한 학습용도로도 활용할 수 있는 구조설계검토 매뉴얼 개발이 필요한 상황이다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구는 CMr가 커튼월 구조설계의 적정성을 간편하게 검토할 수 있는 구조설계 검토프로세스를 도출하고 커튼월 구조설계 제반 단계를 이해할 수 있는 매뉴얼 개발을 목적으로 한다. 본 연구의 범위는 커튼월시스템 중 국내외에서 가장 많이 사용되고 있는 유니트시스템을 대상으로 하여 (1) 커튼월을 구성하는 구조부재인 멀리언(수직재), 트랜섬(수평재), 앵커의 구조설계 검토 프로세스를 정형화하고, (2) 멀리언과 트랜섬 부재의 구조설계 타당성을 용이하게 검토할 수 있는 매뉴얼 개발을 포함하는 것으로 한다. 앵커부분의 구조성능 검토매뉴얼은 본 연구의 후속연구에서 진행한다.

1.3 연구의 내용 및 방법

(1) 문헌자료조사 및 선행연구 조사

초고층건축 커튼월의 구조설계 프로세스 관련 문헌조사와 선행연구조사를 실시한다. 또한 우리나라 커튼월 설계 시 적용되고 있는 구조설계규준 (AAMA 기준과 국내 관련 기준) 을 조사한다.

(2) 사례분석과 전문가 면담

초고층건축 커튼월 구조설계 사례들을 분석하여 구조설계 프로세스를 도출한다. 프로세스 내부에서 검토하여야 하는 구조설계 대상 부재군을 하중조건과 설계조건에 따라 정형화 (예 : 정압/부압, Male/Female 부재, 수직재/수평재, Typical 부재/Non-Typical 부재 등) 한다. 전문가 그룹과 면담을 실시하여 도출된 구조설계 프로세스와 정형화한 사항들에 대한 타당성을 검토하도록 한다.

(3) 커튼월 구조설계검토 매뉴얼 개발

유형화된 내용을 바탕으로 Microsoft 엑셀을 활용하여 구조설계 시 적용되는 각종 규준과 안전성 검토에 필요한 부재별 속성을 입력할 수 있는 구조설계검토 매뉴얼을 개발한다.

(4) 전문가 자문단을 통한 검증

개발된 구조설계검토매뉴얼을 실제 커튼월 설계프로젝트에 반영하여 적용성을 검증하며 커튼월 전문가 및 CMr와의 워크숍을 실시하여 개발된 커튼월 구조설계검토매뉴얼의 개선방향을 마련한다. (그림 1)은 이러한 연구절차를 정리한 것이다.

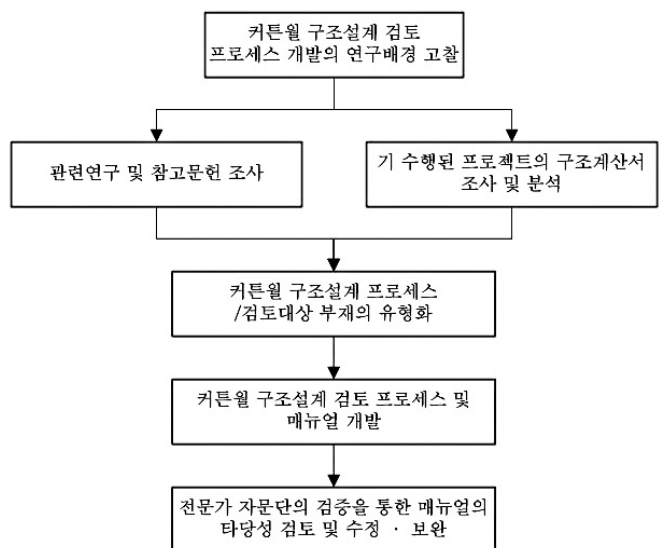
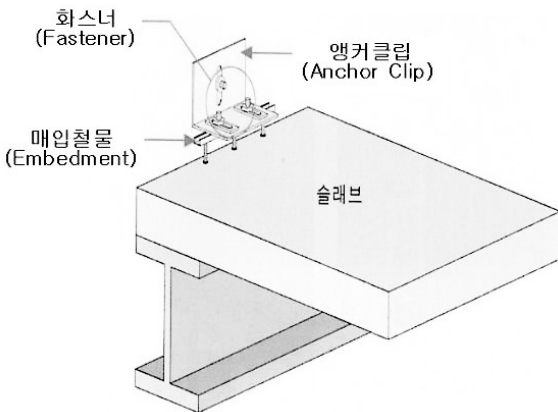


그림 1. 연구의 방법

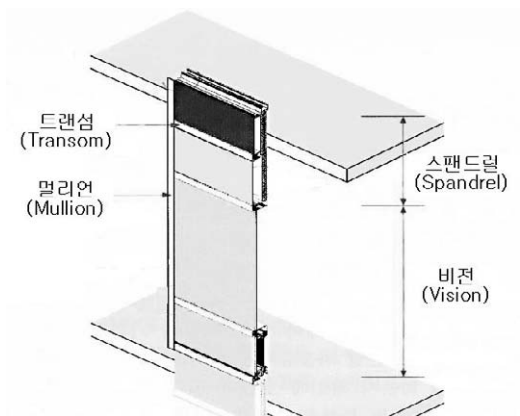
2. 문헌조사 및 선행연구 고찰

2.1 알루미늄 커튼월의 구성 및 형식

커튼월을 구성하는 부재는 크게 앵커(Anchor)와 본체로 분류할 수 있다. 커튼월 앵커는 커튼월과 본 건물을 연결하는 장치를 총칭하며 매입철물, 화스너, 앵커클립 등으로 구성된다(건설기술네트워크2003). 매입철물(Embedment)은 앵커 클립을 슬래브에 고정하기 위하여 슬래브에 매설하는 앵글, 채널, 플레이트 등을 말하고, 앵커클립(Anchor Clip)은 멀리언과 슬래브를 연결하는 앵글, 채널, 플레이트 등의 구조재를 말한다. 또한 화스너(Fastener)는 커튼월 앵커에서 각 부재들을 연결하는 볼트, 너트, 와샤, 스크류 등을 말한다((그림 2 (a)) 참조).



(a) 화스너 (Fastener)의 구성도



(b) 커튼월 본체 구성도

그림 2. 알루미늄 커튼월 구성 (출처: (주)건설기술네트워크 2003)

커튼월 본체는 멀리언(Mullion), 트랜섬(Transom), 비전(Vision), 스펠드럴(Spandrel)로 구성된다. 멀리언(Mullion)은 알루미늄 커튼월의 수직부재로서 건물의 층과 층 사이에서 커튼

월에 가해지는 풍하중을 슬래브에 전달하는 구조부재이고, 트랜섬(Transom)은 알루미늄 커튼월의 수평부재로서 멀리언(Mullion)을 수평으로 연결하는 구조부재이다. 비전(Vision)은 창호유리가 설치되는 부분으로 외부 조망이 가능한 부분을 말하며, 스펠드럴(Spandrel)은 커튼월의 창호부분사이로 아래층 천정에서 위층 바닥까지 부분 혹은 비전(Vision) 사이 부분을 말한다((그림 2 (b)) 참조).

2.2 커튼월의 분류

커튼월은 [표1]에서 보는바와 같이 크게 조립공법, 구조방식, 기타공법 등에 따라 분류할 수 있는데, 단일 건축공사라도 다양한 커튼월 형식이 적용될 수 있으며 그 방식에 따라 설계, 제작, 시공 등의 여건이 달라지게 된다.

2.3 커튼월 구조설계검토 관련 선행연구 고찰

초고층건축 커튼월의 구조설계 또는 구조성능과 관련된 연구는 그동안 많이 수행되지 않았다. 김동규(1990)는 초고층건축의 커튼월 구조와 관련하여 알루미늄 부재와 유리가 구조적 측면보다는 외관의 주요 요소로서 파악되어 건축구조의 안전과 직접 관련되지 않는 부분으로 분류되는 경향에 대해 문제점을 제시하였다.

표 1. 커튼월 분류 및 방식

분류	방식
조립공법에 의한 분류	<ul style="list-style-type: none"> · 유니트시스템 : 구성부재 모두가 공장에서 조립된 프리패브(Pre-fab.) 형식으로 현장에서는 별도의 조립 없이 시공만 하는 방식 · 스틱 방식 : 각 구성부재를 현장에서 조립하여 연결하는 방식 · 원도우 월 방식 : 스틱 월 방식과 유사하지만 창호주변이 패널로 구성되어 창호의 구조가 패널트러스에 연결되는 방식
구조방식에 의한 분류	<ul style="list-style-type: none"> · 멀리언 방식 : 구조부재인 멀리언을 슬래브 단부에 먼저 설치하고, 이것에 트랜섬을 조립한 후 유리·패널 등을 설치하는 방식 · 패널방식 : 층간, Column Cover, Beam Cover 등으로 시공되는 형식으로 자체의 Back Structure를 구성하여 설치하는 방식
기타공법	<ul style="list-style-type: none"> · SSG (Structural Sealant Glazing Method) 공법 : 유리 주변에 씨일작업을 하여 유리 구조체를 접착시켜 구조 실린트로 유리를 지지하는 방식 · Unit & Mullion 공법 : 유니트 방식과 스틱방식의 절충안 · PFG (Point Fixed Glazing) 공법 : 프레임이 없는 시스템으로 유리 4면에 특수출 가공을 한 후 특수 제작된 Bracket을 통하여 판유리와 판유리를 고정하는 방식

김현덕(2003)은 건축공사에서 커튼월 공사비용이 보통 총 건축공사비의 약 10% 정도로 단일품목 중 그 비중이 크다는 점을 강조하며 알루미늄 커튼월의 장점을 충족시키기 위한 기술적인 검토가 중요하다고 언급하였다. 또한 커튼월의 멀리언, 트랜섬과 지지부의 구조설계와 관련하여 응력 해석방법, 설계방법 등에 대하여 개괄적으로 서술하였으나 구조설계검토 프로세스와 간편하게 설계결과를 검토할 수 있는 매뉴얼 개발에 대하여는

언급한 바 없다. 커튼월 프로세스 관련 선행연구는 설계단계와 생애주기 단계에 대한 연구가 진행되었다. 설계단계 프로세스 관련 연구로는 김창덕 (2006)과 권원(2007)이 연구를 진행하였는데, 김창덕 (2006)은 커튼월 공사 프로세스 참여자들 간 원활한 협력관계 구축과 프로세스별 통합관리 시스템 구축을 목표로 연구를 진행하여 Value Stream Mapping (가치흐름맵핑) 기법을 사용하는 개선효과를 제시하였다.

권원(2007)은 커튼월 설계과정이 건축설계사무소의 설계와 커튼월 전문업체의 설계로 나누어짐에 따라 설계 주체간의 의사결정 및 설계정보를 공유할 수 있는 설계관리 시스템 구축과 관련된 연구를 진행하였으며, 정보모델을 제안하고 이를 바탕으로 커튼월 설계의 협업 설계관리 시스템을 제시하였다. 커튼월의 생애주기 프로세스와 관련한 정순오(2005)의 연구는 커튼월공사 전체 생애주기 프로세스를 분석하여 커튼월공사 단계별 주요 관리포인트를 제시하였다.

3. 커튼월 구조설계검토 프로세스 도출

3.1 커튼월 구조설계 사례분석 및 전문가 면담

사례연구는 [표2]와 같이 최근에 건축되어진 P사옥, W센터, U파크 프로젝트의 커튼월 구조계산서를 활용하였으며, 구조계산의 흐름, 검토부재, 각 단계별 검토사항 등에 대하여 조사하였다.

표 2. Case Study - 각 프로젝트의 개요

사례	위치	건물 높이	적용기준(AAMA)	구조해석 프로그램
P사옥	인천	약 185m	-Alum, 6063-T5 -Steel Fy=2400kgf/cm ² Es=2.1*10 ⁶ kg/cm ²	SAP 2000
U파크	울산	약 143m	-Alum, 6063-T5 6063-T6, 3003-H14 -Steel SS400	MIDAS GEN
W센터	서울	약 70m	-Alum, 6063-T5 -Steel SS400	수계산

표 3. 전문가 면담 내용

내용	세부질문내용
· 일반적인 커튼월 설계 프로세스 조사	· 커튼월 설계 프로세스 각 단계의 구분 및 진행 순서 · 프로세스 단계별 참여자
· 커튼월 구조설계 프로세스 조사	· 커튼월 구조설계 프로세스 각 단계의 구분 및 진행순서 · 프로세스 단계별 세부사항 - 구조상능 검토를 위한 물성값, 계산 방법 - 부재선정 방법 - 사용 프로그램 (S/W) · 구조설계 시 각종 적용 기준

커튼월 구조설계검토프로세스 개발에 실무경험을 반영하기 위하여 현재 커튼월설계와 컨설팅을 수행하고 있는 2개 기업의

전문가 6인을 대상으로 면담을 실시하였다. 면담은 총 3회에 걸쳐 진행되었으며 면담 시 조사하였던 세부내용은 [표3]과 같다.

3.2 커튼월 설계의 일반적인 절차

[그림3]은 전문가 면담결과 도출한 커튼월 설계의 일반적인 절차를 보여준다. 이 프로세스에는 건축 디자이너와 커튼월 컨설턴트, 시공회사, 커튼월 제작사, 유리업체 등이 관여하게 된다.

먼저 건축디자이너가 건물입면 및 재료를 선정하면, 커튼월 컨설턴트가 커튼월 시스템을 선정하게 된다. 그리고 법규 또는 풍동실험을 통하여 산정된 풍하중을 기본으로 구조검토를 실시하여 기본설계도를 작성한다.

그 후 시공회사는 커튼월 컨설턴트의 자문을 통하여 샵 드로잉을 작성하고 커튼월 제작사와 유리업체를 선정하여 발주단계, 생산 및 제작단계, 설치단계를 진행하게 된다.

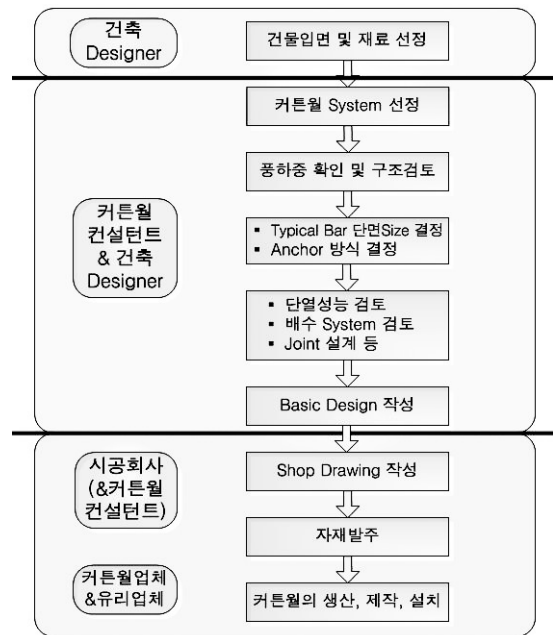


그림 3. 일반적인 커튼월 시스템 설계 프로세스

3.3 커튼월 구조설계 프로세스

커튼월구조설계 프로세스는 [그림3]의 중앙 부분에 해당된다. 사례분석과 전문가 면담을 통하여 조사된 멀리언과 트랜섬, 앵커부분의 구조설계 프로세스와 각 프로세스별 진행사항은 다음과 같다.

(1) 풍하중 산정

커튼월 구조설계에 있어 가장 중요한 설계요소는 풍하중이다.

[표4]에는 사례연구에서 분석하였던 3 개 프로젝트별 풍하중값과 적용된 구조규준들이 명시되어 있다. 풍하중 산정방식은 법규(건축물 하중 기준 및 해설)에 따라 산정하는 경우와 풍동시험(Wind Tunnel Test)에 의한 경우가 있다(정봉석 2008).

법규에 의한 방법은 건물 주변 바람의 난류와 건물의 진동, 지표면 조도상태(노풍도) 등을 고려하여 풍하중을 산정하게 되고, 풍동시험에 의한 방법은 설계된 건축물과 주변 환경요인(지형적, 기후적 요소)을 고려하여 실제 시공될 건축환경을 재현함으로써 예상되는 풍하중을 산정하게 된다.

표 4. 각 프로젝트의 풍하중과 적용된 구조규준

프로젝트	풍하중 산정방식	풍하중(kgf/m ²)		구조규준
		정압	부압	
P사옥	풍동시험	310	360 410 610	- 건설교통부, 건축물의 구조 기준 등에 관한 규칙(공통) - 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설 (공통) - 대한건축학회, 강구조 계산규준(공통)
U파크	풍동시험	300	330 350 380	- 대한건축학회, 강구조 계산규준(공통) - AAMA (공통)
W센터	법규에 의한 방법	145	270	

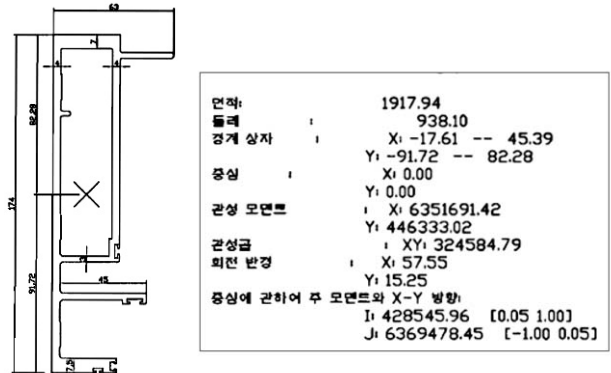
법규에 의한 방식은 안전율이 많이 포함되어 있어 풍동시험 결과보다 하중이 크게 나오는 경우가 대부분으로 알루미늄 물량이 많이 소요된다. 따라서 대규모 건물의 경우는 설계풍압력을 비교적 정확히 산정할 수 있는 풍동시험을 실시하여 경제적인 설계(알루미늄 Profile의 크기, 알루미늄의 두께)를 추구하고 있는 것으로 조사되었다.

풍하중은 정압과 부압으로 나누어지는데 정압은 바람을 맞는 건물 정면에 발생하는 하중을 말하며 부압은 건물주변과 배면에 발생하는 하중을 말한다. [표4]에서 P사옥과 U파크의 경우 각각 4개의 풍하중이 산정되어 있는 것은 부압의 경우 건물의 배면 중앙부와 건물모서리 부위의 풍하중이 다르고 특히 모서리의 경우, 건물 중앙에서부터 거리에 따라 풍하중 값이 다르게 때문이다. 반면, W센터의 경우 2개의 풍하중만이 사용된 것은 부압 시의 풍하중 중 가장 큰 하중 값을 건물 중앙부뿐이나 모서리 부분 부재설계에 모두 적용하였기 때문인 것으로 조사되었다.

(2) 부재가정 및 단면성능 산정

부재가정이란 작용하는 풍하중과 자중 등에 충분히 저항할 수 있을 정도의 부재 단면을 검토대상 부재로 설정하는 것을 말하며 단면성능 산정작업이란 가정된 부재의 단면적, 단면2차모멘트, 단면계수 등을 산정하는 것을 말한다. 과거에는 부재 단면의 각 부위를 세분화하여 복잡한 계산을 필요로 하였으나 현재는 Autocad 프로그램을 사용하여 부재의 단면값을 계산하고 있다. 사례연구하였던 세 프로젝트 역시 Autocad 프로그램을 사용하

여 자동으로 단면성능을 산정하였으며, 결과는 [그림4]의 예시에서 보는 바와 같다.



(a) 부재 단면

(b) 단면성능산정

그림 4. 단면성능 산정 사례

(3) 구조해석

구조해석은 풍하중과 자중 등의 하중이 각 부재에 작용할 경우 발생하는 최대모멘트, 최대반력, 최대처짐 등의 값을 구하기 위하여 실시한다. 작용하는 풍하중은 커튼월 유리를 통해서 트랜섬, 멀리언, 앵커부위의 순서로 전달된다.

사례연구의 P사옥은 구조해석용 프로그램인 SAP 2000과 수계산을, U파크는 MIDAS GEN과 수계산을, W센터는 수계산을 사용하여 구조해석하였다. 커튼월의 수직부재인 멀리언의 경우는 연속보로 해석되며 수평부재인 트랜섬의 경우는 단순보로 해석된다.

(4) 가정된 부재의 적정성 검토

부재 적정성 검토란 앞의 구조해석 단계에서 산정된 모멘트와 반력 등이 부재에 작용할 경우 발생하는 응력을 각 부재의 허용응력과 비교하여 부재의 적합여부를 판단하는 것을 말한다. 표 2의 사용기준에서 Alum. 6063-T5 라고 명시되어 있는 것은 AAMA 6063-T5 기준에서 정하고 있는 부재의 세장비와 폭 두께비를 산정하여 알루미늄의 허용응력값을 계산하게 됨을 의미한다.

① 멀리언(Mullion) 부재 적정성 검토

멀리언(Mullion) 부재는 정압과 부압의 경우, Male 멀리언과 Female 멀리언의 경우, 건물의 중앙부분 부재 (Typical Section)와 모서리부분 부재 (Corner Section)의 경우로 세분하여 8 가지 경우에 대한 휨응력(인장응력, 압축응력) 측면의 안정성, 국부좌굴에 대한 안정성을 검토한다. [그림5]는 멀리언 부재의 구조계산 프로세스를 정리한 것이다.

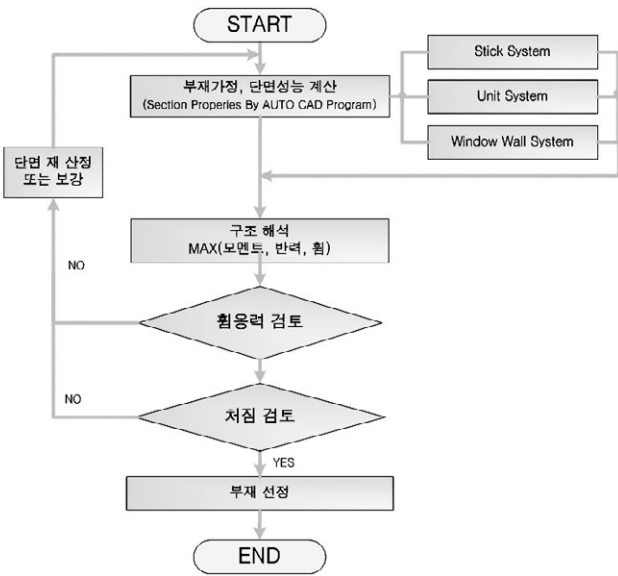


그림 5. 멀리언 부재의 구조계산 프로세스

② 트랜섬(Transom)

트랜섬(Transom) 부재는 멀리언 부재와 달리 Male, Female 부재가 없으며 구조해석을 통해 최대모멘트, 최대반력 등도 산정하지 않고 단순보로 해석하기 때문에 멀리언보다 검토과정이 단순하다. 트랜섬 부재 검토는 (그림 6)에서 보는 바와 같이 트랜섬이 부담하는 유리면적에 작용하는 풍하중에 의한 휨응력과 처짐검토를 실시한 후 유리자중, 알루미늄 자중에 의한 휨응력과 처짐검토로 진행한다.

③ 앵커볼트(Anchor Bolt)

앵커볼트는 커튼월 시스템, 앵커의 위치에 따라서 지지조건이 다르고 다양한 앵커타입이 쓰이고 있기 때문에 정형화된 구조계산 프로세스가 아직 정립되어 있지 않다. 일반적으로 멀리언에서 앵커부위로 전달되는 풍압과 자중을 만족시키기 위해 구조계산을 실시하게 되며 전문가 면담을 통해 조사된 앵커볼트의 구조계산 프로세스는 (그림7)과 같다. 커튼월 앵커부위에 대한 프로세스 정립과 구조검토 매뉴얼 개발은 후속 연구에서 진행할 예정이다.

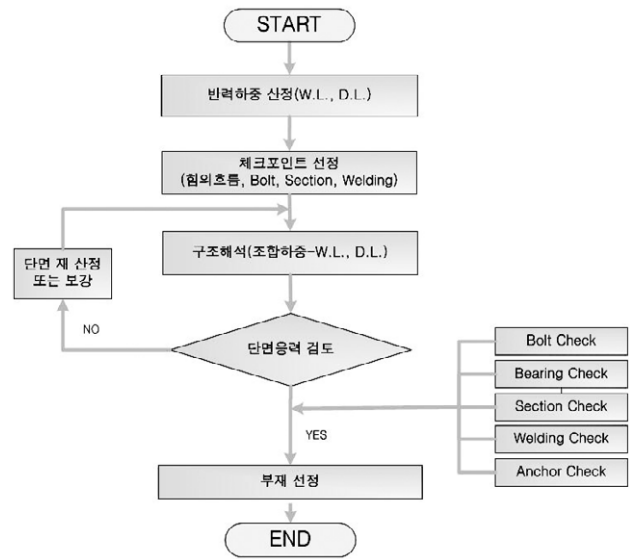


그림 6. 트랜섬 부재의 구조계산 프로세스

④ 커튼월 부재 보강

발생하는 응력과 허용응력을 비교하여 만약 부재가 부적절하다고 판단되면, (그림 5, 6, 7)의 '단면 재 산정 또는 보강' 단계를 적용하게 된다.

부재를 보강하는 방법에는 부재단면 크기를 확대하여 단위면적 당 응력값을 낮추어 안전성을 확보하는 방법과 알루미늄부재에 철강재를 덧대어 강성을 보강하는 방법이 있다. 부재보강이 결정되면 앞에서 진행한 구조 성능검토 프로세스를 반복하여 부재의 적절성을 판단한다.

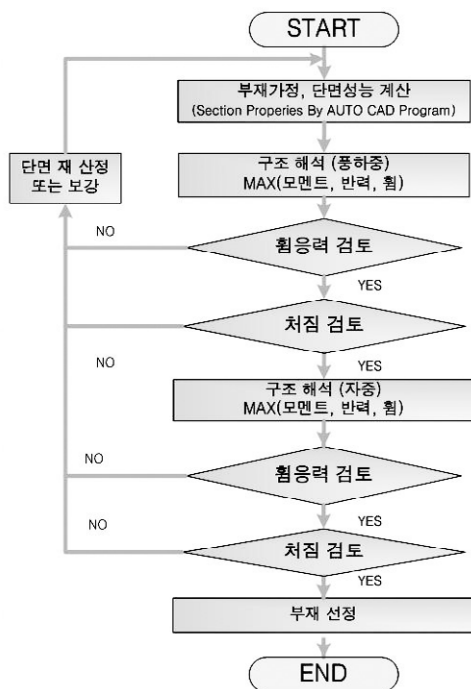


그림 6. 트랜섬 부재의 구조계산 프로세스

4. 커튼월 구조설계검토 매뉴얼 개발

본 장에서는 3장에서 도출한 프로세스를 바탕으로 구조설계검토 매뉴얼을 개발하고 그 적용성을 분석한다. 매뉴얼은 이미 언급한 바와 같이 멀리언과 트랜섬 만을 대상으로 한다.

4.1 매뉴얼 개발

(1) 시스템 개요

본 연구에서 개발한 커튼월 구조설계검토 매뉴얼은 Microsoft Excel을 기반으로 작성된 워크시트 (Work Sheet)와 워크시트 사용방법 매뉴얼로 구성되며 본 논문에서는 워크시트만을 설명한다. 이 워크시트는 각 부재의 허용응력을 산정하는 알루미늄 매뉴얼 워크시트와 부재별 검토결과를 레포트형식으로 출력할 수 있는 구조성능검토 워크시트로 구성되어 있다. (그림8)은 워크시트의 구성을 보여준다.

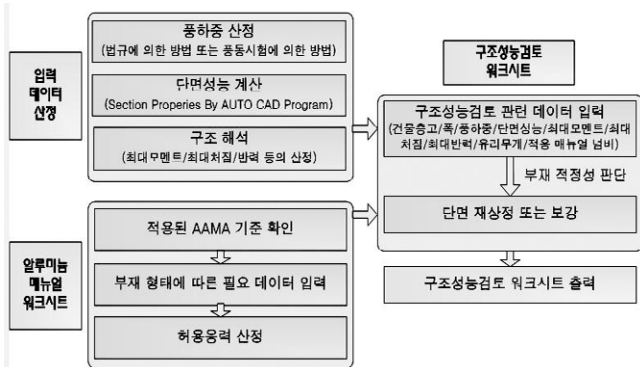


그림 8. 워크시트 구성도

(2) 알루미늄 매뉴얼 워크시트

알루미늄 매뉴얼 워크시트는 AAMA 기준을 워크시트화한 것

으로 부재의 허용응력을 구하기 위하여 필요 데이터만 입력하면 원하는 결과값을 도출할 수 있도록 구성하였다. AAMA기준에서 허용응력값 산정은 알루미늄 부재의 종류와 형상, 용접여부에 따라서 적용하는 기준이 다르게 되는데 부재의 종류와 형상에 적합한 기준을 선택하고 부재의 세장비 또는 폭 두께비를 산정하여 허용응력값을 계산하게 된다.

본 연구에서는 실무에서 가장 많이 사용되는 AAMA의 '6063-T5', '6063-T6', '3003-H14'의 매뉴얼을 선택하여 각 매뉴얼의 워크시트를 구성하였으며 새로운 매뉴얼 워크시트를 추가할 수 있는 기능도 구성하였다. 6063-T5는 0.5인치로 압출 성형된 알루미늄 부재에, 6063-T6는 압출 혹은 파이프 모양의 성형에, 3003-H14는 시트·플레이트(Sheet Plate) 성형에 적용된다.

(그림9)는 AAMA 매뉴얼 중 '6063-T5'를 워크시트화 한 모습을 예로 보여주고 있다. (그림9)의 Sec. 3.4 열은 프로젝트에 사용되는 알루미늄 부재의 형상을 구분하는 열로서, 매뉴얼 사용자는 알루미늄 부재의 형상에 따른 스펙 넘버를(1번에서 21번까지) 확인하고 해당 알루미늄 부재의 세장비 계산이나 폭 두께비 계산에 필요한 k, L, r, b, t 값을 해당 열에 입력하면 자동으로 기준에 적합한 허용응력이 산정되며 산정된 세장비값과 허용응력값은 'Allowable Stress' 열과 '세장비 계산값' 열에 기록된

Allowable Stresses for Building Type Structures													
6063-T5		Extrusions up through 0.500 in. thick											
6063-T52		Extrusions up through 1.000 in thick											
White bars apply to unwelded metal													
Shaded bars apply to weld-affected material													
For tubes with circumferential welds, Sections 3.4.10, 3.4.12, and 3.4.16.1 apply for Rb/t<20													
Sec.3.4.	Allowable Stress												
1	11.5		8.5										
	9.5												
2	9.5		4.8										
3	11.5		5.5										
4	12.5		6.5										
5	23		17										
6	15		11.5										
Sec.3.4.	Allowable Stress, S≤S1	S1	Allowable Stress, S1<S<S2	S2	Allowable Stress, S≥S2	k	L	r	세장비 식	세장비 계산값	스펙값 설명	스펙값	
7	-	0		99					kL / r				
	-	0		185					kL / r				
Sec.3.4.	Allowable Stress, S≤S1	S1	Allowable Stress, S1<S<S2	S2	Allowable Stress, S≥S2	b	t	세장비 식	세장비 계산값	스펙값 설명	스펙값		
8	9.5	1.4		16				b / t					
	4.8	3.3		25				b / t					
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	

k : effective length factor by rational analysis
 L : unsupported length
 r : radius of gyration of the column about the axis of buckling

그림 9. 알루미늄 매뉴얼 워크시트 (6063-T5)

다. 산정된 허용응력 값은 별도의 연동 없이 구조성능검토 워크시트로 넘어가게 된다.

알루미늄 부재의 형상에 따른 스펙넘버가 1에서 6인 경우는 이러한 과정없이 (그림9)에서 보는 바와 같이 스펙에 정해져 있는 값을 사용하게 된다. 또한 알루미늄 부재가 용접되었을 경우와 용접되지 않았을 경우를 구분하여 허용응력을 산정하게 되는데 (그림9)에서 각 스펙 넘버별로 회색으로 표시된 부분은 용접된 알루미늄 부재에 적용되는 것을 의미한다.

(3) 구조성능검토 워크시트

구조성능검토 워크시트는 멀리언, 멀리언+철강재 보강, 트랜섬 부재에 대하여 구조성능을 검토할 수 있도록 구성한 것으로, 일련의 정형화된 계산 검토과정을 제공하여 커튼월 구조와 관련하여 많은 지식을 가지고 있지 않더라도 기본적인 부재치수와 단면성능, 구조해석값 등 필요 데이터만 입력하면 원하는 결과 값을 도출할 수 있도록 하였으며, 알루미늄 매뉴얼 워크시트에서 계산된 허용응력과 연동되도록 구성하였다. 구조성능검토 워크시트의 구성과 흐름은 (그림10)과 같다.

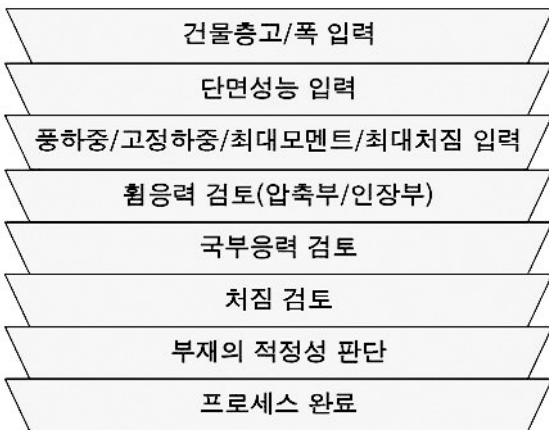


그림 10. 구조설계검토 워크시트의 구성 및 흐름

4.2 매뉴얼 검증을 위한 사례연구

개발된 워크시트의 적용성 검증을 위해 실제 커튼월 설계프로젝트에 워크시트를 적용하였다. 해당 프로젝트는 서울 소재 Y대학교 의료원 건물로서, 건물 연면적 5,000㎡ 높이 54.9m의 철근콘크리트조 건물로, 커튼월을 외장재로 설치하는 건물이었다.

표 8. 기본입력사항 - Y대학교 의료원 프로젝트

프로젝트	풍하중	단면성능	구조해석
Y대학교 의료원	160kgf/m ² 206kgf/m ² 286kgf/m ²	lx = 601.7 cm ly = 134.3 cm Zt = 72.4 (70.9) Zc = 70.9(72.4) (단위 : cm ⁴)	Mmax = 45,047(58,003) kgf · cm δmax = 2.39 cm

(1) 알루미늄 매뉴얼 워크시트 입력

알루미늄 매뉴얼 워크시트는 (그림9)의 AAMA 매뉴얼 6063-T5를 사용하였다.

(2) 구조성능검토 워크시트 입력

① 멀리언 부재 검토

(그림11 a, b)는 멀리언의 구조설계검토 워크시트에 기본입력 사항을 입력한 모습으로, 회색으로 표시된 공간이 입력된 값이다. (그림11 a)에서의 1.1.1은 알루미늄 멀리언의 단면 속성값을 입력하는 곳으로 '3.3.절 (2) 부재가정 및 단면성능 산정' 에서 설명한 바와 같이 AutoCAD 프로그램을 이용하여 산정한 단면 속성을 입력한다.

Ymax 값은 인장, 압축축의 최대 유효길이를 나타내며 Ymax 값으로 인장과 압축에대한 단면계수를 구하게 된다. Lb 는 유효좌굴길이를 커튼월 도면 검토 시에 부재가 좌굴할 수 있는 길이로 일반적으로 트랜섬 사이의 간격을 말한다.

1.0 Aluminum Mullion : Typical Mullion

층고	5.4	m
폭	1.1	m

1.1 Aluminum Mullion : 정압일 경우

1.1.1 Section Properties of Aluminum Mullion

Aluminum Mullion
Male Mullion

I _{xm}	601.7	cm ⁴	
I _{ym}	134.3	cm ⁴	(인장, 압축 최대유효길이)
Z _{mt}	72.4	cm ³	(Y _{max} 8.3 cm)
Z _{mc1}	70.8	cm ³	(Y _{max} 8.4 cm)
L _b	340	cm	(L _b : 유효좌굴길이)

(a) 멀리언의 단면성능 입력 모습

1.1.2 Analysis of Aluminum Mullion

Design Wind Load

W_p 160 kgf/m²

Wind Load on Mullion

W 176 kgf/m (W = W_p × 1.1m)

Design Dead Load

D_p 30 kgf/m² (유리무게/1m 250 kgf/m³)
(유리두께 0.01 m)

Dead Load on Mullion

D 36.3 kgf/m (D = D_p × 1.1m × 1.1)

Maximum Bending Moment at the Midpoint

M_{max} 45,047 kgf·cm

Maximum Deflection at the Midpoint

δ_{max} 2.39 cm

(b) 멀리언의 풍하중/고정하중 및 구조해석 값 입력 모습

그림 11. 멀리언 구조성능검토 워크시트 : 기본입력사항

(그림11 b)에서의 최대모멘트와 최대처짐값은 '3.3.절 (3) 구조해석' 단락에서 설명한 바와 같이 구조해석 프로그램을 이용하여 구한다.

기본사항의 입력이 완료되면 워크시트는 자동으로 힘응력, 국부응력, 처짐 등에 대한 안정성을 검토하게 된다. (그림12)는 멀리언 부재 검토결과 중 국부응력 검토결과를 예로서 보여준다.

국부응력 검토			
$Z_{mc2} = I_{xm} / Y_{max}$	$(Y_{max} = 8.3 \text{ cm})$		
$= 72.41 \text{ cm}^3$			
$f_{mc2} = M_{max} \times \text{Prop. (Male)} / Z_{mc2}$			
$= 622.14 \text{ kgf/cm}^2$	$(M_{max} = 45047 \text{ kgf}\cdot\text{cm})$		
	$(\text{Prop. (Male)} = 1)$		
	$(Z_{mc2} = 72.41 \text{ cm}^3)$		
AAMA 6063-T5	SPEC# 16	비용접	
1			
세장비 $S = b / t = 15.55556$			
스펙에 의하여 $S \leq S1$ 이므로			
$9.5 \text{ ksi} = 667.85 \text{ kgf/cm}^2$			
$\therefore f_{allow} = 667.85 \times 4/3$ (Increased Factor)			
$= 890.47 \text{ kgf/cm}^2$			
$\Rightarrow f_{mc2} / f_{allow} = 0.70 < 1.0$			\therefore O.K

그림 12. 멀리언 부재의 응력검토

② 트랜섬 부재의 검토

멀리언 부재의 구조설계검토가 풍하중과 고정하중과의 조합 하중에 의해서 이루어지는 것과 달리 트랜섬 부재의 구조설계검토는 앞에서 언급한 바와 같이 풍하중에 관한 검토와 고정하중에 대한 검토로 나누어지며 단순보로 계산을 하게 된다.

1.1.3 Check for Aluminum Transom : Wind Load			
1) Actual Bending Stress			
$f_b = M_{max} / Z_y$			
$= 94.8 \text{ kgf/cm}^2$	$(M_{max} = 6114.2 \text{ kgf}\cdot\text{cm})$		
	$(Z_y = 64.4 \text{ cm}^3)$		
2) Allowable Bending Stress			
AAMA 6063-T5	SPEC # 14	비용접	
1			
세장비 $S = (2Lb \times Sc) / \sqrt{(I_y \times J)} = 169.6$			
스펙에 의하여 $S1 < S < S2$ 이므로			
$9.588 \text{ ksi} = 674.06 \text{ kgf/cm}^2$			
$\therefore f_{allow} = 674.0 \times 4/3$ (Increased Factor)			
$= 898.7 \text{ kgf/cm}^2$			
$\therefore f_b / f_{allow} = 0.11 < 1.0$			\therefore O.K
3) Check for Deflection			
$\delta_{max} = 0.03 \text{ cm}$			
$L = 110 \text{ cm}$			
$\delta_{allow} = L / 175$ 또는 19mm 중 작은 값			
$\delta_{allow} = 0.63$			
$\delta_{max} / \delta_{allow} = 0.04 < 1.0$			\therefore O.K

그림 13. 풍하중에 의한 트랜섬 부재의 응력 및 처짐 검토

매뉴얼을 활용하는 순서는 멀리언 부재와 마찬가지로 기본사항들을 먼저 입력하고, 이후 풍하중과 고정하중에 대한 부재의 응력을 검토하게 된다. (그림 13)은 풍하중에 의한 부재 힘응력과 처짐 검토가 완료된 모습을 예로서 보여준다.

4.3. 전문가 워크샵을 통한 활용성 조사

개발된 워크시트의 활용성을 검증하기 위하여 본 연구를 위한 면담에 참여하였던 커튼월 전문가 3인과 건물외장을 커튼월로 마감하는 프로젝트의 건설관리용역업무에 종사하고 있는 CMr 3인이 참여하는 워크샵을 실시하였다. 워크샵 참여자들은 개발된 매뉴얼을 실제 프로젝트에 적용한 사례 전반에 관한 설명을 청취한 후 매뉴얼의 정확성과 활용성에 대한 의견을 제시하였으며 내용은 다음과 같다.

(1) 정형화된 워크시트를 제공하므로 도출하고자 하는 검토값을 명확하게 제시할 수 있으며 Excel 프로그램 기반으로 자동 계산되기 때문에 커튼월 전문가 뿐만 아니라 비전문가가 검토할 경우에도 계산의 정확성이 향상될 수 있을 것으로 예상된다.

(2) 기존 수계산에 의한 구조설계 검토에 비하여 상당한 시간 절약이 가능할 것으로 예상되고 입력한 워크시트를 출력할 경우 별도의 Report 작업이 필요치 않아 업무 간소화가 기대된다.

(3) 개발된 워크시트를 사용할 경우 커튼월 구조설계프로세스와 내용을 통일할 수 있어 커튼월 업무를 수행하는 그룹 내의 사소통에 도움이 될 것이다.

(4) Excel 프로그램만으로 대단히 다양한 형식의 알루미늄 부재를 매뉴얼화하여 워크시트를 구성하기에는 복잡하고 어려워 사용자에게 혼란을 줄 수 있으므로 개발된 시스템을 실무에 적용하기 위해서는 보완이 필요하나 커튼월 시스템의 이해를 위한 교육용으로 활용도가 높을 것으로 예상된다.

(5) 개발된 워크시트는 유닛시스템의 구조계산을 근거로 하여 작성되어 스틱시스템 및 스틸 파이프구조에 적용시키기 어려울 것이므로 다양한 커튼월 시스템에 대한 융통성을 갖는 워크시트 개발이 필요하다.

(6) 개발된 워크시트를 커튼월 구조검토 실무교육에도 활용할 수 있도록 매뉴얼에 커튼월 구조설계에 관한 이론적인 설명을 추가하는 것이 바람직하겠다.

5. 결론

본 연구는 건물의 초고층화와 더불어 건물외장재로서 많이 사용되고 있는 알루미늄 커튼월의 구성부재인 멀리언, 트랜섬, 앵커부재의 구조설계 프로세스를 도출하고 CMr의 입장에서 멀리언과 트랜섬의 구조설계 적정성을 쉽게 검토할 수 있는 구조설계 검토 매뉴얼을 개발하였다.

이 매뉴얼은 Microsoft Excel을 기반으로 작성된 워크시트(Work Sheet)와 워크시트 사용방법 매뉴얼로 구성되어 있으며 워크시트는 부재의 허용응력을 산정하는 알루미늄 매뉴얼 워크시트와 부재별 검토결과를 레포트형식으로 출력할 수 있는 구조 성능검토 워크시트로 구성되어 있다.

본 연구는 다양한 커튼월 종류 중 국내외에서 가장 많이 사용되고 있는 유니트시스템을 대상으로 하였으며 커튼월 설계기업에 근무하고 있는 전문가 6인을 대상으로 면담을 실시하였고 3개 프로젝트 구조설계 사례연구를 수행하였다.

개발된 매뉴얼의 활용성을 검증하기 위하여 실제 커튼월 설계 프로젝트에 적용하여 보았으며 전문가가 참여하는 워크숍을 실시하여 매뉴얼의 적절성과 활용성을 검토하였다. 워크시트를 활용하여 커튼월 설계 시 정형화된 구조성능계산이 가능할 것이며, 그에 따른 작업시간의 단축, 검토 결과의 정확성 향상 등이 가능할 것으로 기대된다. 또한 CMr의 특정 프로젝트 수행 시 본 연구에서 개발된 매뉴얼을 활용하여 커튼월 전문업체가 설계한 커튼월 부재의 유형과 속성에 따른 구조성능을 검토하여 가치공학(Value Engineering)적 대안설계안이나 설계지침을 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 권원, 전재열, 협업 기반의 커튼월 설계관리 시스템 구축에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제23권 제11호, pp. 143~151, 2007
2. 김동규, 고층건축의 커튼월구조에 관한 연구, 서울시립대학교 학술저널지, 제24권, pp. 265~273, 1990
3. 김창덕, 이상혁, VSM기법을 활용한 커튼월 공사의 설계 프로세스 개선, 한국건설관리학회논문집, 제7권 제5호, pp. 128~137, 2006
4. 김현덕, 알루미늄 커튼월의 구조설계, 대한건축학회논문집, 제47권 제9호, pp. 22~27, 2003. 9
5. 손영주, 커튼월 실시공 사례분석에 의한 공법연구, 한양대학교 산업대학원 공학석사 논문, 2001
6. 정봉석, 커튼월시스템의 종류와 특성, 초고층건축 커튼월 전문가아카데미 Manual, 2008. 4
7. 정순오, 김예상, 윤수원, 진상윤, 커튼월 Life Cycle Process의 효율성 향상을 위한 비효율 요인 및 중요도 도출, 한국건설관리학회논문집, 제6권제4호, pp. 101~111, 2005
8. (주) 건설기술네트워크, 건축시공이야기 Ⅲ, pp. 162~163, 2003
9. 최효석, 초고층공사의 주요 공종별 공사비 영향도 분석을 통한 개략공사비 산정방법에 대한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2007. 8.
10. 한국건설산업연구원, 제3차 건설산업진흥기본계획(안)요지, 건설동향브리핑, 2008. 1

논문제출일: 2008.10.13

심사완료일: 2009.02.04

Abstract

The purpose of this study was to develop the curtain-wall structure design evaluation manual that can easily examine the curtain-wall structural members (Mullion and Transom) stability from the position of the construction managers. Through analyzing the structural design reports in the previous studies and interview with industry experts, the curtain-wall structural member design process was elicited. The manual, which consists of Microsoft Excel-based work sheet and its manual, was applied to a real curtain-wall design project to make sure its usability. A workshop with three curtain-wall experts and three construction managers was conducted to identify pros and cons of the manual, thereby enhancing its applicability in the future.

Keywords : Curtain-wall, Unit System, Structural Stability, Mullion, Transom, Anchor, Structure Evaluation Process, AAMA, Manual