

建築構造物の 巨大化 限界

—스팬의 長大화와 高層化는 어디까지 가능한가—

金 圭 石

建築構造物術의 中核은 材料에 관한 力学, 構造에 관한 力学과 시공법등이다.

이들은 現단계로서는 꽤 높은 수준까지 발전 하였다고 생각된다. 제 2 차세계대전이 끝나고 經濟가 발전, 안정기에 들면서 선진국이나 개발도상국에서 大建築物의 需要가 급증하기 시작했고, 構造技術의 진보를 촉진케 하였다.

技術이란 自然法則을 이용하여 인간의 使用 目的에 알맞게 利用·活用하는 것이다. 技術에는 여러 分野가 있겠으며 그 進化에도 또한 여러 方向이 있다.

크기면에서 본다면 動力技術인 경우, 1 基에 대한 出力의 增大, 制禦技術에서는 小型化에 의한 容量 增大가 그 進化의 方向이라 할 수 있다. 선박이나 항공기도 巨大化하고 있고, 土木·建築構造物에서도 巨大化가 進化의 한 方向이기도 하다.

이러한 技術은 각기 그 方向으로 진보하는 도중에 어떤 시스템을 밟게 되는데, 어느 한도를 넘어서지 못하는 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있게 된다.

예를 들면 橋梁인 경우, 스패인이 클수록 利用度가 높으므로 큰 스패인이 요구되었다. 간단히 통나무를 강에 걸쳐서 다리로 이용하던 것이 組積構法에 의한 아치교가 생겼다.

그 다음으로 트러스構法에 의해 스패인이 長大化 하였고, 연속보나 鋼의 懸垂構造는 더욱 스패인을 증대케 하였다. 建築에서도 大空間의 지붕을 덮기 위한 셸構造가 등장하였고, 이 보다 훨씬 큰 스케일의 空氣膜構造가 개발되므로 構造技術은 놀랄만치 진보하였다.

建物높이면에서도 組積造의 建物에서 鉄骨의 架構式構法과 엘리베이터의 개발로 뉴욕의 세계무역회관에 이르

기까지 발전하였는데, 이 시스템으로서는 그 한계에 다달은듯 하다.

이와 같이 土木, 建築構造에서는 스패인과 높이에 대하여 무한한 도전을 하고 있다. 그러나 構造物の 巨大化를 어렵게 하는 요소가 많은데 安全性, 快適性(機能面), 經濟性등을 중심으로 構造物の 巨大化의 가능성과 문제점을 알아 보기로 한다.

1. 安全性

安全性이란 強度化의 문제와 가장 관련깊은 것이다. 物理的인 면에서, 構造物은 自重과 外力에 대한 耐力를 가져야 하고, 따라서 安全率을 가져야 한다. 다시 말하면 構造物은 한없이 크게 될 수 없다는 것이다.

1638년 이탈리아의 갈릴레오는 「2 개의 새로운 自然科學에 관한 對話」라는 것을 발표하면서 自然이나 人工의 인 것이 무한히 크게 될 수 없다고 하였다. 樹木은 대략 90m를 넘지 못하고, 人間은 뼈의 強度가 바뀌어지지 않는 한 같은 프로포션으로 2 배가 될 수 없다고 했다. 만약 인간이 같은 프로포션으로 2 배가 된다면 8 배의 体重을 지탱해야 하고, 뼈대의 断面은 4 배가 되어야 하므로 8 배의 체중을 지탱할 수 없게 된다. 이러한 현상을 코끼리 다리 현상(象足)이라 할 수 있다.

또한 人工的인 것을 보더라도 모든 材料는 그 自重만으로 破壞되는 限界가 있다. 표 1 에서와 같이 軟鋼의 鋼棒을 매달았을때 6.7km가 되면 自重만으로 許容應力度에 이르고, 8.9km이면 破斷하게 된다. 安全率까지 생각한다면 그 값은 더욱 작아질 것이며, 地球上의 重力場内の 構造物은 이 법칙의 支配下에 있게 된다.

建築物인 경우 규모는 다양각색이므로 한마디로 말하기는 어려우나, 교량인 경우 비교적 단순하며, 표 2, 그림 1과 같다. 건축은 스패의長大化와 高層化인 두 가지의 進化方向이 있다. 이 두가지를 함께 고려한다면 교량보다 더욱 복잡하게 된다. 현존하는 建物, 計劃 發表된 건물, 計劃中인 것을 들어보면 표 3, 4, 5와 같다.

표 1. 매달린 재료의 길이한계

材 料	σ (t/cm ²)	γ (g/cm ³)	ℓ_1 (km)	ℓ_2 (km)
軟 鋼	5.2	7.8	6.7	8.9
소 나 무	1.0	0.5	20.0	26.5
피 아 노 선	22.0	7.8	28.0	37.0
나 이 론 끈	5.7	1.14	50.0	66.0
콘크리트(압축)	0.6	2.2	2.7	3.6

주: σ : 引張強度

γ : 比重

ℓ_1 : 応力度가 인장강도의 0.75배인 때의 길이

ℓ_2 : 応力度가 인장강도인 때의 길이

표 2. 現存橋梁

構造시스템	位 置	스팬 (m)
연속보의플레이트거어더	하아렘 리버橋 (미국)	100
鋼복스 거어더	琵琶湖大橋 (일본)	140
연속 트러스	天草 1号橋 (일본)	300
단순지지트러스	메트로 폴리스橋 (미국)	222
아 치 橋	베이윤느橋 (미국)	504
겔버식 트러스	백橋 (캐나다)	549
斜 張 橋	세베린橋 (서독)	302
현 수 橋	베라자노나로우스 (미국)	1,294
"	南海大橋 (한국)	405

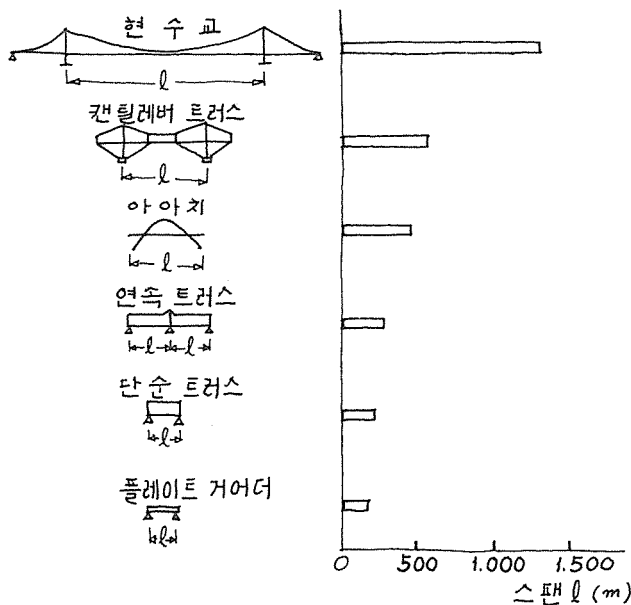


그림 1. 교량구조시스템과 최대스팬

그런데 建築構造 시스템의 源流를 살펴 보면 單位個體의 블록을 쌓는 것과 部材를 組立하는 두가지의 主流로 발전되어 왔다. 즉 벽돌, 블록, 목재, 철강재를 組積 또는 組立하던가, 재료를 거푸집 속에 부어 넣어서 굳힌 형태의 것이 건축시스템의 주종을 이루고 있다. 그리고 空氣壓力을 이용하여 큰 공간을 형성하는 空氣膜構造 시스템도 실용화되고 있다.

표 3. 現存하는 큰 규모의 建物

建 物 名	位 置	規 模	建設年代
엠파이어스태이트빌딩	뉴 욕	102층 378m	1931
존 한 콕 센 타	시 카 고	100층 337m	1969
세 계 무 역 회 관	뉴 욕	110층 410m	1973
국 립 기 술 센 타	파 리	RC220m스팬	1959
아 스토로 돔	휴 스톱	S. 196m스팬	1965
T V 탑	모스크바	529m	

표 4. 計劃案으로 發表된 建築物

構造形式	規 模 및 位 置
현 수 식 지 붕	600m×600m, 이리노이대학
브래멘港의텐트지붕	폭390m, 길이1,500m, 높이55m
맨 하탄의공기돔	직경 3.5km
마 일·하이·타워	높이 1,600m 1956년 프랑크 로이드 라이트작품

표 5. 計劃中의 건축물

構造形式	規 模 및 位 置
슈 퍼 돔	스팬 208m 뉴우오린즈
토론토의CN 타워	높이 542m

이렇게 오늘날에 와서는 自然의 法則에 따라서 만들수 있는 시스템으로는 대부분이 創出되었다고 할 수 있겠다.

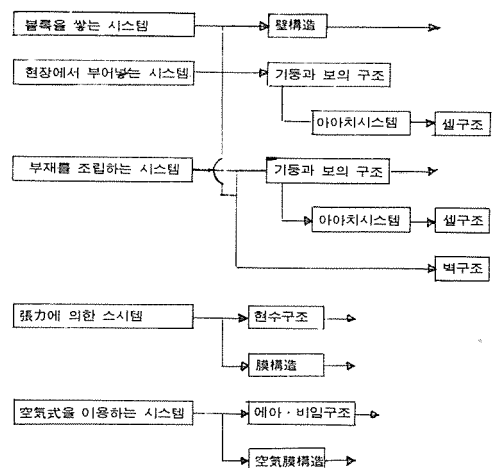


그림 2. 건축구조의 시스템 일람표

그림 2는 이러한 구조시스템을 정리해 본 것이다.

구조시스템은 最終到達系에 다달았다고 생각되며, 이의 개발 방향은 그러한 構造시스템들의 組合, 材料의 開發, 接合에 관한 開發, 材料力學的인 研究, 構造力學的인 研究등의 細分化된 領域에서 깊이 研究進行되고 있다.

高層빌딩을 예로 들어보면 시카고의 John Hancock Center, 뉴욕의 World Trade Center, 시카고의 Sears Roebuck Tower 등과 같은 耐力壁시스템은 部材를 組立한 壁構造와 라이멘構造의 組合이다. 라이멘 構造시스템으로는 피츠버그 US Steel 本사와 같이 主 라이멘을 3層마다 큰 보와 기둥으로서 構成하고, 그 中間의 보와 기둥은 다만 主라이멘과를 연결하는 構法, 즉 그들간의 間막이 역할을 하게 된다. 이것도 라이멘 구조시스템과 벽 구조 시스템의 合成이라 할 수 있다.

그 외에 런던의 Commercial Union 빌딩과 같이 어느 층에 平面 設구조를 배치하여 이것에 上下層을 지지케 하는 라이멘과 設구조시스템의 조합도 있다. 물론 여기에도 벽구조 시스템은 들어 있다.

한편 스패에 대하여 살펴보면 高層化와 같이 각종 시스템을 구사할 수 없는 것은 아니나, 機能面에서 교량처럼 큰 스패를 요구하는 것이 많지 않다. 현수교시스템이 가장 큰 스패에 적합한 것으로서 뉴욕의 Verrazano-Narrows Bridge(1964)가 1,300m의 스패이며, 1,500~1,600m의 本四連絡橋(일본)가 計劃中이고, 우리나라의 南海大橋의 스패도 405m나 된다.

建築인 경우 無柱大空間이라면 多目的의 스포츠센터나 大壁航空機의 整備用 格納車가 있고, 전자는 스패이 200m 정도, 후자는 이보다 약간 적은 것이 要求되고 있다.

이와 같이 建築에서의 스패는 構造面에서 아직도 增大할 가능성이 있을 것으로 보이며, 문제는 高層化인데 지금까지의 最高 건물높이를 能가할 수 있는가에 있다.

이를 해결함에 있어서 어려움을 가져오는 것은 風, 地震등의 水平外力이라 할 수 있다.

2. 機能面

建築을 高層化함에 있어서 어려움을 가져 오는 것은 상하층의 交通 문제이다. 이를 해결한 것이 1880년경 엘리베이터의 개발이다.

엘리베이터의 設計基本方向은 사무소 建築인 경우, 아침 출근시의 5분간에 入館者를 余하히 원만하게 수송처리하느냐에 있다. 여기에는 엘리베이터의 速度, 定員, 平均運動間隔, 서비스層數등에 따라 設계가 다소 달라지는 수도 있겠다.

建물이 高層化하게 되면 엘리베이터의 대수가 불어나고, 너무 多이면 建물의 有效面積이 작아지고, 또한 防災를 위한 設備가 多아져서 서술한 바와 같이 自重과 重力의 限界와 같은 象足現象이 나타내게 될 수 있다.

이러한 象足現象의 완화책으로 Sears Roebuck Tower 에서는 2개층마다 멈추는 스톱형식과 World Trade Center의 Skyloby 시스템등이 나타내게 되었다.

스카이·로비시스템이란 기능적으로 서로 관계없는 3개의 建물을 重疊하는 것이다. 3종류의 블록으로 나누고 각 블록의 最下층의 로비에서 다시 4종류의 엘리베이터 群을 設치하였다. 여기서 建물의 最下층 콘·코오스바닥에서 각 블록으로 直行急行群으로 110층의 세계무역회관이라는 建물의 기능상의 문제를 해결하고 있다. 이러한 方法에 의하면 150층 程度까지는 高層化가 可能하리라 생각된다.

3. 經濟面

미국은 金세기 初부터 建물이 高層化하기 시작하여 建物高의 最高기록을 경신하고 있다. 초기의 마친루는 記念建造物의인 이미지의 塔狀形態였고, Woolwarth 빌딩과 같은 시카고 양식이 대부분이었다.

선박이나 항공기가 大型化하듯이 建築物도 土地利用, 收容能力面을 고려하여 高層化함에 의해 經濟적일 수 있다. 전자의 建造費는 그림 3과 같이 增加추세가 완만하나, 建物の 경우는 그림 4와 같이 增加추세가 급하다.

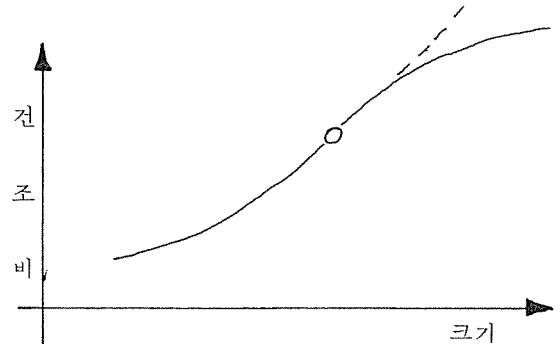


그림 3. 구조물의 크기와 건설비와의 관계

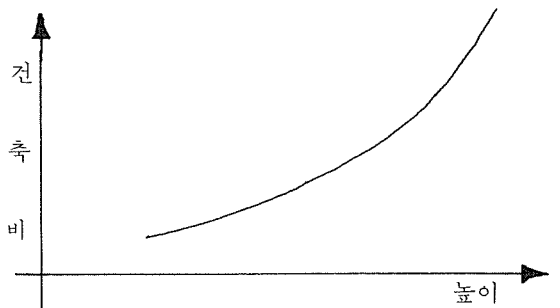


그림 4. 건물의 높이와 건축비와의 관계

그림 3에서 횡축의 크기를 전조비로 나누어서 (효율) 표현한 것이 그림 5이고, 그림 4에서 마찬가지로 높이를 전축비로 나누어 표현한 것이 그림 6이다. 이는 효율을 살펴 본 것인데, 그림 5에서 어느 크기 이하에서는 효율이 갑자기 떨어지며, 그 이상에서는 점점 효율이 좋아진다. 이에 반해 그림 6에서 어느 높이 이하에서는 효율이 떨어지는 그림 5에서와 같으나, 그 이상에서는 점점 좋아지다가 다시 나빠짐을 알 수 있다.

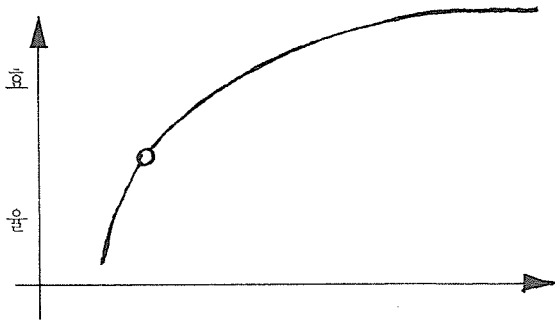


그림 5. 크기와 효율

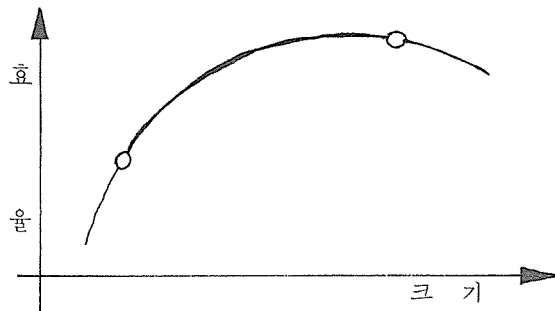


그림 6. 건물고와 효율

결국 건물에서 어느 높이 이하나 이상이 되면 효율 (建物高 / 建築費)이 나빠진다는 것이다. 그러나 건물의 高層化 限度는 材料, 構造시스템, 施工法 등의 研究·開發에 따른 점점 높아질 수 있다. 즉 엠파이어스태이트 빌딩이 건설될 때에는 高層化의 한도에 다달았다고 생각했을지 모르나, 커튼 월시스템과 순철골조의 상자形플랜을 채택함에 따라 더욱 高層化가 가능하게 되었다. (그림 7 참조)

결국 기술자는 細分化되어 개발된 것을 종합적으로 組合한다면 계속 建物高의 상한선을 깨뜨릴 수 있다고 생각된다.

그림 8의 2개의 曲線은 미국과 일본의 초고층 빌딩의 使用鋼材량과 建物高와의 관계를 표현한 것인데, 시스템의 변화에 따라 새로운 고층화의 방안을 모색한 것이다. 여기서 더욱 발전하려면 다른 새로운 구조시스템의 기술 개발이 있어야 할 것이다.

이상과 같이 건물을 高層化함에 있어서 어려운 3가지 요소에 관해 살펴 보았는데, 構造分野에서는 아직도 高層化의 가능성이 엿보이며, 機能이나 經濟面에서는 어느 한계점에 온 느낌을 갖게 한다. 즉 기술개발에 따라 高層化의 방해 요소를 해결할 수 있으리라 보이며, 이것이 오늘날 건축의 기술개발의 방향인듯 한다.

새로운 시스템의 궁리에 의한 효율

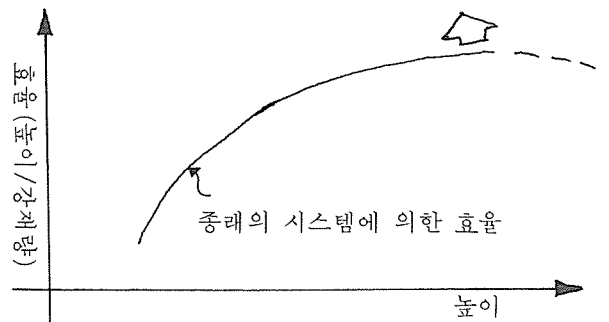


그림 7. 시스템의 변화에 의한 효율의 변화관계

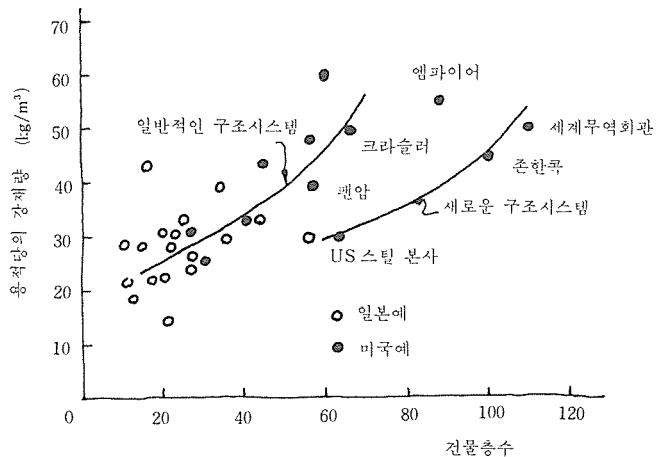


그림 8. 현존건물의 총수와 사용 강제량과의 관계

그러나 경제성만을 너무 추구하는 중에 Redundancy (여유)를 잃게 될 수 있다. 건물이란 인간의 생활을 영위케 하는 것이라 볼때 Redundancy-less의 건물에는 인간적인 매력도 없을뿐만 아니고, 다만 기술의 산물에 지나지 않게 된다. 이와 같이 建築의 巨大化를 위한 適性規模의 문제는 대지위에 선 1개의 건물이 아니라 地域全体속에 있는 建築群에 어울리는가를 생각한다면 문제는 더욱 복잡하게 된다.

東國大 助教授