

1989년도 가을

한국전산구조공학회 학술발표회 논문집

사무실 적재하중의 통계적 조사 연구

Study on Live Loads in Office Buildings

김상효* 조형근** 배규웅*** 박홍석***
Kim, Sang Hyo Cho, Hyung Keun Bae, Kyu Woong Park, Hung Seok

ABSTRACT

Live load data in domestic office buildings have been collected in a systematic manner. Based on surveyed data, equivalent uniformly distributed load intensities, which produce the same load effect as the actual spatially varying live load, have been obtained for various structural members (such as slab, beam, column, etc.). Influence surface method has been employed to compute load effects under real live load, including beam moment, slab moment as well as axial force and moments in column.

The results have been examined to find probabilistic characteristics and relationship between influence area and load intensity (or coefficient of variation). The results were also compared with other survey results and found to be reasonable.

1. 서론

건축구조물의 설계에 있어 적재하중(Live load)은 고정하중(Dead load)과 함께 매우 중요한 하중이다. 특히 우리나라와 같이 자연발생적 하중(풍하중, 지진하중 등)이 심각하지 않은 지역에서는 경제적이고 안전성 있는 구조물 설계에 가장 많은 영향을 가지는 것이 적재하중이다. 특히 고정하중은 설계하중을 결정하기가 비교적 용이하지만, 적재하중은 그외 시간적, 공간적 변화특성 때문에 합리적인 설계하중의 산정이 어렵다. 현재 사용되고 있는 설계하중은 일반적으로 오랜 경험에 의해 결정된 것이며, 우리나라의 경우는 이웃 일본의 설계하중을 그대로 도입하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 국내외 실정에 맞는 합리적인 설계하중의 선정 및 하중 및 저항계수설계법에 의한 현대적인 국내 구조설계 기준의 개발을 위한 연구의 기초 작업으로 사무실의 적재하중을 체계적으로 조사·분석하였다. 이는 아파트 적재하중에 관한 연구(1)와 함께 국내에서 최초로 실시된 본격적인 적재하중 관련 연구이다.

2. 조사대상 선정 및 하중조사

적재하중의 확률적 특성을 분석하기 위한 가장 기본적인 단계가 적재하중의 측정이다. 하중 측정을 위해서는 조사대상 집단을 선정하여야 하는데, 본 조사에서는 서울특별시에 위치한 사무실용 건물중에서 이들이 밀집된 지역을 중심으로 지역, 층수, 입주특성을 고려하여 9개 사무실용 건물(22개업체, 28층, 25932 m²)의 조사대상을 선정하였다.

하중조사 자료는 건물별, 회사별, 실별로 우선 구분한 다음 4개의 기둥에 의해 구축되는 공간을 기본단위(Unit)로 하여, 이를 다시 각 변에 대해 4등분한 16개 세부구획(Sector)별로 정리하였다. 이 경우 대상건물의 단위구획은 3-7m² 정도의 면적을 가진다. 만약 1개의 물품이 2개 이상의 단위요소에 위치한 경우에는 각 단위요소별로 품목 바닥면적의 차지비율에 따라 분할하였다.

인간하중은 일반 사무실의 경우 책상 1개당 성인남자 1명씩 적용하였으며, 회의실, 소파등에는 의자수의 2/3 정도에 해당되는 인원을 적용하였다. 그 밖에 본 연구에서는 전산실중 퍼스널 컴퓨터를 사용하는 전산실은 조사에 포함시켰으나 대형 컴퓨터 및 그 주변기기가 설

* 한국건설기술연구원 구조연구실 수석연구원 공학박사
** 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원
*** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

치된 전산실은 해당 전문가의 별도의 조치가 이루어진 것으로 보아 제외하였다.

3. 등가등분포하중의 분석

3.1 개요

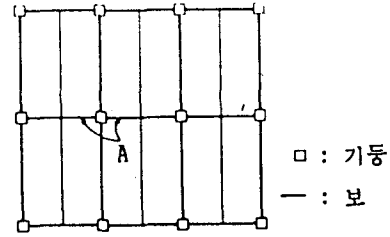
등가등분포하중은 실제의 불규칙한 평면배치를 가지는 재하상태에서와 같은 하중효과를 재현하는 등분포하중이므로, 먼저 실제 재하상태에서의 각 부재의 최대하중효과를 산정하여야 한다. 따라서 적재하중 조사결과를 이용하여 구조해석을 실시하여야 하는데, 이는 매우 번거롭고 많은 계산량을 요구한다. 그러나 사무실용 건물은 다른 건물과는 달리 평면구조배치가 대부분 정형적으로 되어 있기 때문에 영향선(Influence surface)을 이용하면 많은 계산량을 줄일 수 있다(그림1). 따라서 본 연구에서는 각 조사 대상건물에 대해 하나의 기본 구조형식을 정하여, 앞에서 설명한 각 세부구획(sectors)에 대하여 영향선을 작성하여 이용하였다.

3.2 구조부재별 등가등분포하중 산정

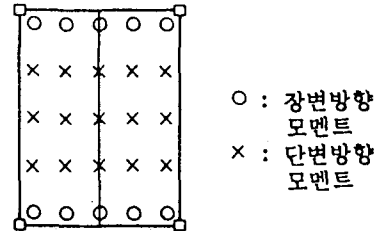
슬래브 --- 일반적인 사무실용 건물의 슬래브는 대부분 일방향 슬래브이다. 따라서 그림2에서와 같이 대부분('X') 단변방향 휨모멘트에 대한 등가등분포하중을 산정하고, '0' 표시된 부분에서만 장변방향 휨모멘트를 검토하여, 이들중 최대 등가등분포하중을 이 슬래브의 대표 등가등분포하중으로 택했다. 그러나 결과분석에서의 슬래브 영향면적은 보로 분리되는 부분, 즉 그림2의 슬래브에서 반쪽만을 택하였다.

보 --- 보에서는 양단과 중앙부에서의 휨모멘트에 대하여 등가등분포하중을 산정하여, 각 영향면적별로 최대등가등분포하중을 선정하였다. 보에 있어서의 영향면적은 그 보에 의해 영향면적이 결정되는 주변의 모든 슬래브를 포함한다. 즉 4기둥으로 지지되는 슬래브 가운데 설치된 보강보가 양쪽으로 걸쳐있는 보(그림1의A)는 슬래브 영향면적의 4배가 되는 영향면적을 가지며, 기타 보의 2배의 영향면적을 가진다. 그러나 건물전체 구조에 있어 한 방향으로만 보강보가 걸쳐 있는 외부의

보는 2배의 영향면적을, 기타 외부의 보는 슬래브와 동일한 영향면적을 가지는 것으로 보았다.



<그림 1> 일반적인 사무실용 건물의 구조



<그림 2> 슬래브의 등가등분포하중 산정위치

기둥 --- 기둥에 대한 등가등분포하중의 산정에서는 축력과 모멘트의 조합효과를 고려하였다. 일반적으로 압축파괴가 설계단면을 결정하는 내부에 배치된 기둥에서는 축력과 모멘트 각각에 의해 발생하는 압축응력(Compression stress)의 합력에 대한 등가등분포하중을 산정하였다. 그러나 인장파괴가 일어날 가능성이 있는 외부의 기둥에서는 약간 다른 방법을 이용하였다. 즉 건물전체 구조에서 4모퉁이에 배치된 기둥(corner column)에서는 축력과 양방향의 두 모멘트 각각에 대한 등가등분포하중을 산정하여 이들중 최대치를 대표 등가등분포하중으로 선정하였으며, 이외의 외부에 배치된 기둥에서는 배치위치에 따라 선정된 한 모멘트에 의한 응력과 축력에 의한 응력의 합에 대한 등가등분포하중과 다른 한 모멘트(두모멘트중에 큰값이 예상되는 모멘트)에 대한 등가등분포하중 중에서 큰값이 대표등가등분포하중이 된다. 기둥에서의 영향면적은 내부배치 기둥은 슬래브 영향면적의 8배가 되며, 모퉁이 기둥을 제외한 외부배치 기둥은 4배, 모퉁이 기둥은 2배가 된다.

4. 결과 분석

산정된 등가등분포하중은 표1에 부재별, 영향면적별로 정리되어 있다. 부재별 등가등분포하중을 살펴보면 슬래브가 94kg/m² (N=431)로 가장 크며, 기둥이 77kg/m² (N=699), 보가 69kg/m² (N=985)의 순으로 된다. 조사대상에서 기둥의 평균 영향면적이 보의 평균 영향면적 보다 크다는 점을 고려하면 일반적인 결과가 아니다. 그러나 앞에서 설명한 등가등분포하중 산정방법에 의하면 기둥에서 약간 안전측의 결과를 예상할 수 있다. 즉 기둥에서 각기 다른 하중효과에 대해 산정한 등가등분포하중에서 최대치를 취하는 방법은 그들 하중효과와 조합결과에 대해 산정한 등가등분포하중보다 항상 커지게 된다. 부재별 변이계수도 슬래브 0.46, 보 0.43, 기둥 0.51로 영향면적과의 상관관계가 특별히 나타나지 않고 있다.

부재의 배치위치에 관계없이 영향면적만으로 분류한 것을 살펴보면, 몇몇 경우를 제외하고는 전반적으로 영향면적의 증가에 따라 평균과 변이계수가 줄어드는 경향을 발견할 수 있다. '*'로 표시된 것이 특이한 경우인데, 이들은 모두 특정 조사대상 하나에 의해 나타나는 결과로 분석되었다. 즉 슬래브에서 영향면적 40-50 m²에 해당하는 조사대상 회사는 모두 3군데 밖에 안되는데, 이들을 각 회사별로 분석하면 한회사에서 평균이 무려 120kg/m² 이 나와 나머지의 평균 84kg/m² 를 50%

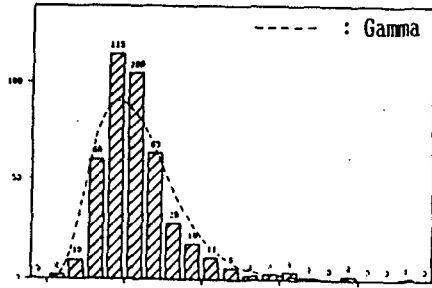
가량 상회하고 있다. 이 조사대상의 영향이 보의 80-90 m², 기둥의 89-90m², 160-180m² 등에 미치고 있는 것이다. 이러한 현상은 조사대상규모를 보다 확대하면 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 분석결과를 외국의 결과와 비교해 보면 미국이나 유럽의 하중조사(2,3)에서는 일반적으로 평균은 12-13psf(60-65kg/m²)로 영향면적과의 관계를 보이지 않는 것으로 나타났으며 본 조사결과보다 작다. 단지 변이계수가 200ft² (18m²)에서 0.80, 1000ft² (90m²)에서 0.5, 5000ft² (450m²)에서 0.45로 영향면적과 밀접한 관계를 보이며 본 조사결과보다 크게 나타났다. 우리와 동일한 설계하중을 취하고 있는 일본에서의 최근 조사결과(4)에 의하면 슬래브(평균영향면적=21.8m²)에서는 평균은 92-108kg/m²로 본 결과와 비슷한 수준이며, 변이계수는 0.50을 상회하는 것으로 나타났다. 보(평균영향면적=53.1m²)에서는 평균 72kg/m², 변이계수 0.40 정도로 매우 비슷한 수준이다. 영향면적에 따른 분석과 기둥에 대한 결과가 없어 자세한 비교는 할 수 없으나, 본 조사결과와 타당성을 어느 정도 보완해 주는 결과라고 할 수 있다.

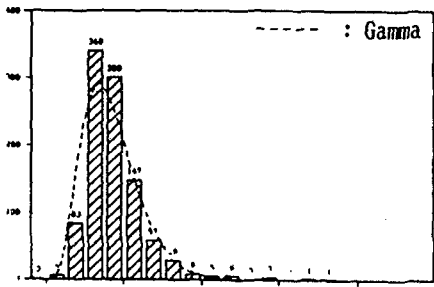
그림3은 각 부재별로 전체결과에 대한 분포도이다. 실선은 Gamma 분포를 나타내는데 전체적으로 좋은 적합도를 보여주고 있다. Gamma 분포 및 기타 적용 가능한 분포들에 대한 정량적인 적합도 비교(K-S test 등)는 추

표1 사무실 등가등분포하중 분석결과

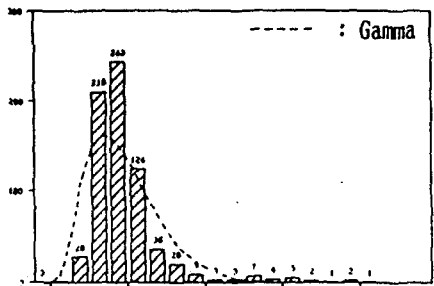
영향면 부재 적	30 이 하	30 - 40	40 - 50	60 - 80	80 - 90	120- 160	160- 180	240- 400	400 이 상	전 체
슬래브	102 (0.45)	90 (0.45)	93 * (0.50)	56 (0.48)						94 (0.46)
보			76 (0.45)	67 (0.37)	71 * (0.47)	60 (0.35)		37 (0.27)		69 (0.43)
기둥			96 (0.54)	67 (0.41)	100 * (0.58)	67 (0.34)	76 * (0.50)	69 * (0.30)	43 (0.19)	77 (0.51)
전 체	102 (0.45)	90 (0.45)	81 (0.49)	67 (0.38)	83 * (0.57)	64 (0.35)	75 * (0.48)	67 * (0.32)	43 (0.19)	77 (0.49)



a) Slab



b) Beam



c) Column

<그림 3> 부재별 등가등분포하중의 분포도

후 실시할 예정이다. 분포도에서 보면 현행 설계하중(슬래브 300kg/m², 보·기둥 180kg/m²)를 초과하는 경우가 슬래브에서 3개(총대상 431개), 보에서 11개(총대상 985개) 정도이나, 기둥에서는 무려 25개(총대상 699개)나 나타나고 있다. 이외에도 통계처리 과정에서 제외된 것이 슬래브에서 2개(410과 413kg/m²), 기둥에서 2개(456과 465kg/m²)가 있었다. 현행 허용응력설계법에서 허용압축응력도를 설계기준강도의 30%, 허용 휨 압축응력도를 40%로 본다는 점에서 이러한 결과들은 거

의 한계에 도달한 적재하중으로 볼 수 있을 것이다. 물론 거의 변이가 없는 고정하중에 대해서도 동일한 안전계수를 적용한다는 점이 또다른 안전요소로 작용하고 있다.

5. 결론

본 연구는 진행중인 관계로 현재까지의 분석결과에 대한 결론만을 정리하면

- 1) 사무실 적재하중은 영향면적과 상관관계를 보이고 있다.
- 2) 부재별로 제시되어 있는 현행 설계하중도 타당성이 있으나, 향후 영향면적에 따른 설계하중산정법이나 부재종류와 영향면적을 같이 고려하는 설계하중 산정법이 제시되면 바람직하겠다.
- 3) 국내 사무실의 적재하중은 구미지역보다는 크며, 일본과는 비슷한 수준이다.
- 4) 확률분포는 Gamma 분포가 적합하다.

본 연구에서는 상시하중만 분석하였으나, 향후 일시하중 및 사용기간 최대하중 분석등이 실시될 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 아파트 적재하중에 관한 통계적 연구, 최종보고서, 1988.
2. Corotis, R. B., and Doshi, V. A., "Probability Models for Live-Load Survey Results", ASCE Vol. 103, No. ST6, June, 1977, pp.1257-1274.
3. Ellingwood, B., et al, Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, NBS Sp.577, 1980.
4. Kanda, J., and Kinoshita, K., "A Probabilistic Model for Live Load Extremes in Office Buildings" Proceedings of ICOSSAR '85, JAPAN, 1985, pp.11287-11296.