

사무소 건물의 거주밀도 분포

A Survey of Occupant Load Density in Office Buildings

김운형*, 이수민**

건물 방화설계시 인명안전의 목표는 적정한 피난용량의 확보를 통한 최소한의 피난 시간을 확보하는데 있다. 따라서 건물 내 거주자수는 피난 설계 시 가장 중요한 설계하중의 하나가 된다. 예로서 1935년 미국의 Life Safety Code 에서 사무소 건물은 100 ft²/인 (Gross)으로 규정하고 각 용도별로 거주밀도를 제시하여 피난인원을 기준으로 한 새로운 피난 설계방법을 도입하였다. 본 논문에서는 이러한 배경에서 국내 사무소 건물의 거주 밀도 분포를 조사하였다. 일반적으로 거주밀도(Occupant load)는 공간을 사용하는 예상 평균 거주자수와 바닥면적(Gross area)으로 나눈 값(ft²/인 또는 인/ft²)으로 건물의 용도와 면적에 따라 그 범위가 다르게 된다. 조사 방법은 서울 강남 소재 14개의 건설 관련 사무소 건물을 계층적 표본으로 추출하여 직접 방문조사가 가능한 10개 사무소를 분석 대상으로 하였다.

건물층수는 전체 피난(Total Evacuation)한계를 고려하여 8층에서 15층 사이로 제한하였다. 현장조사시 거주자의 출장, 외근 등 장기부재나 외출, 화장실 이용 등 일시적인 부재, 외부 방문객 등을 구분하기 위해 사전 교육된 조사원이 건물 관리자 또는 근무자의 도움을 받아 진행하였다. 조사결과는 전체바닥 면적(Gross Area)과 계단, 복도 등

비 주거면적을 제외한 순수 바닥면적(Net Area)으로 구분하여 각각의 거주밀도 분포를 제시하였다. 각 층 바닥면적은 건축도면을 기준으로 하고 순 사무면적은 직접 실측하였다. 조사대상은 10개 사무소 51개의 층이며 총 거주자 수는 2,462명, 바닥면적은 39,844m²이다. 조사 결과는 통계적 방법(T-Distribution Curve)을 이용하여 거주 분포를 산출하였으며 그 결과는 표2와 같다.

조사결과, 거주밀도는 95% 신뢰도 기준으로 총 바닥면적 당 13.14 m²/인-22.69 m²/인 (141-244 ft²/인), 평균 19.72 m²/인 (193ft²/인), 순 바닥면적 당 9.18m²/인-15.18 m²/인 (98-163ft²/인), 평균 12.18m²/인 (131.1ft²/인)이다. 이는 가장 최근에 조사된 Caro & Milke의 214-254 ft²/인 (관공서 건물)이나 Bourdeau의 175-200 ft²/인 (대학의 사무동 건물)과 평균 거주밀도에서 유사한 분포를 보여 사무소 건물의 경우 한국과 미국간에 큰 차이가 없음을 보여준다. 다만 Nelson이나 NBS 등 1970년대 이전의 조사 결과와는 큰 차이가 있어 공간 기능의 변화에 따라 거주밀도도 변화함을 알 수 있다.

* 경민대학 소방안전관리과

** 경민대학 건축설비과

표 1. 사무소 건물의 거주밀도 분포

연구자	거주밀도 (ft ² /인) (Gross)	조사연도	비고
1) NBS	87	1934	미국
2) Nelson	150	1969	미국(관공서)
3) BOMA	160-275	1966, 1990	미국
4) Johnson & Pauls	243-278	1977	캐나다 (고층건물)
5) Cormier, et al.	220-230	1977	캐나다
6) Bourdeau	175-200	1992	미국 (대학건물)
7) Caro & Milke	214-254 (관공서) 246-310 (일반건물)	1996	미국
8) 일본	0.16 인/m ² (자사건물) 0.25 인/m ² (임대건물)		건축방계계획 지침 (높이 45m 미만)
9) 한국	141-244	1998	건설회사

여기서 미국 Life Safety Code (LSC)의 100 ft²/인 과는 평균 거주밀도에서 거의 2배 차이가 있다. 총 바닥면적에 대한 순 바닥면적의 비율은 46%에서 83%까지 편차가 크게 나타났으며 평균 68.93 %로서 공간의 약 30%정도가 비 거주면적으로 조사되었다.

한편, 사례분석을 통해 화재시 거주자 수가 인명안전을 위한 피난시간에 미치는 영향을 평가하였다. 모델 평면은 G건물이며 피난 층(1층)을 제외한 지상 2층에서 8층까지의 평면에서 거주밀도의 변화에 따른 피난시간을 비교 분석하였다. 각 층의 피난인원은 표1.에서의 거주밀도 분포 평균값을 적용하여 구하였다. 모델 건물은 지상 8층 지하 2층이며 총고 3.6m, 지상 각층의 바닥면적은 759m² (36.2m x 21m)이다. 각층의

피난계단은 2개씩 대각선으로 위치하며 실측결과, 계단치수는 단높이 20cm, 단너비 29cm이고 계단 폭은 1.2m, 계단참의 폭은 2.5m x 2m이다.

표 2. 거주밀도 분포

		거주밀도 분포 m ² /인 (ft ² /인)			
		Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
전체 바닥 면적	90%	14.04 (151.1)	21.79 (234.6)	19.72 (192.8)	6.68
	95%	13.14 (141.4)	22.69 (244.3)		
	99%	11.05 (118.9)	24.79 (266.8)		
순수 바닥 면적	90%	9.75 (104.9)	14.61 (157.3)	12.18 (131.1)	4.18
	95%	9.18 (98.9)	15.18 (163.3)		
	99%	7.88 (84.8)	16.48 (177.4)		

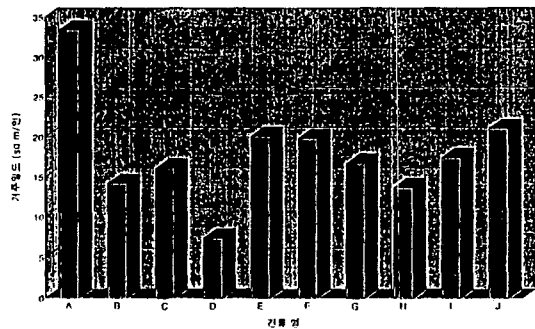


그림 1. Occupant Load(Average)

계단입구의 방화 문은 90cm, 180cm이며 불리한 조건을 고려하여 90cm를 기준으로 피난시간을 계산하였다. 중복도의 길이는 35m, 폭은 1.7m이다. 사무실내 스프링클러 설비는 없으며 2층부터 8층까지 평면배치 및 공간치수는 전 층에 걸쳐 동일하다.

피난시간(Evacuation time)은 거주자가 화재감지 후 체류장소에서 안전한 장소 또는 건물 외부로 이동하는 경과시간으로서 인간의 행동 특성에 따른 피난개시 이전의 거주자의 대응시간 (Pre movement time)과 행동결정시간 그리고 피난수단의 이동 (Travel time) 및 통과시간(Flow time)으로 구성된다. 본 장에서는 피난개시 이전 또는 피난 중에 발생하는 행동 소요시간을 제외한 피난통로 유동시간(Flow time, Travel time)을 기준으로 거주밀도 변화에 따른 최소 피난시간을 계산하였다.

이를 위해 Hydraulic Model중에서 Paul의 고층 사무소 건물을 대상으로 연구한 Effective-Width Model을 적용하였으며 본 모델의 주요 가정은 다음과 같다.

- a) 각층의 피난인원은 동시에 피난을 개시하며 각 피난수단을 균등히 이용한다.
- b) 모든 거주자는 피난에 지장이 없는 정상인으로 가정한다
- c) 피난 시 개인별 의사결정에 따른 시간 지연 등의 방해는 없다.
- d) 피난 층 거주자는 대피 시 계단을 사용하지않는다.

Effective-Width모델은 피난 시 실제 사용되는 통로 유효폭(We), 밀집도(D), 이동속도(S), 단위 유효 폭, 단위시간 당 유동인원 (Fs) 및 실험 결과에 따른 최대 Fs값 (Fsm)을 기준으로 단위 시간당 피난통로의 유동인구(Fc)와 피난통로 이동시간(Tp)을

계산하는 Hydraulic 모델이며 계산과정은 아래와 같다. 여기서 단위는 정확성을 위해 Paul의 제안 치수를 사용하였으며 보다 자세한 설명은 Paul의 관련문헌에 있다.⁽⁵⁻⁶⁾

$$We = \text{실제 폭} - \text{경계 폭} \quad (\text{boundary layer widths}) \text{ (ft)} \quad (1)$$

$$D = \text{거주자 수} / \text{단위면적 (인/ ft}^2\text{)} \quad (2)$$

$$S = k - akD \text{ (ft/min)} \quad (3)$$

상수 $k = 275$, 상수 $a = 2.86$

$$Fs = SD = (1-aD)kD \text{ (인/ min- 유효폭 ft)} \quad (4)$$

$$Fsm = 24.0 \text{ (복도,통로,문)} \quad (5)$$

= 18.5 (계단 단 높이 20cm, 단 높이 29cm 기준) (인/ min- 유효 폭 ft)

$$Fc = Fs We = (1-aD)kDWe \text{ (인/min)} \quad (6)$$

$$Tp = \text{유동인구} / Fc = \text{유동인구} / (1-aD)kDWe \text{ (min)} \quad (7)$$

10개의 거주밀도 기준을 모델 평면에 적용하여 거주자 수가 피난시간에 미치는 영향을 분석한 결과는 표3과 같다. 전체적으로 거주밀도 기준이 낮을수록 피난시간은 증가함을 알 수 있다. 미국의 LSC 기준에 따른 피난시간은 약 416초가 소요되며 본 연구결과를 기준 하면 241초로 예상되어 큰 차이를 보였다. 조사결과를 보면 현재 사무소 건물의 거주밀도는 200 ft²/인 내외 정도로 예상할 수 있으며 밀도 범위가 150 ft²/인에서 260 ft²/인 사이의 경우, 최대 1.7분 정도의 피난시간 차이가 발생하였다. 일본의 경우, 거주밀도 기준과 피난시간 계산방법이 미국과 다른 현실을 고려하더라도 피난시간이 900초로 가장 길게 나타났다.

표 3. 거주밀도에 따른 피난통로 이동시간

Surveyor	평가기준 거주밀도 (ft ² /인)	예상 거주자 (인)	Flow time (sec)
LSC	100	82	416
NBS	87	94	470
Nelson	150	55	295
BOMA	217	38	219
Johnson & Paul	260	32	192
Cormier, et al.	225	37	214
Bourdeau	188	44	246
Caro & Milke	219	38	219
일본	43	190	900
한국	193	43	241

사례연구 결과에서 보듯이 건물의 용도별 거주밀도 산정은 예상되는 최대 거주자 수에 따른 적절한 피난용량을 확보하는 데 필수적이다. 그러므로 건물의 거주자 수를 예상하는 것은 피난설계의 가장 중요한 기준이 된다. 부적절한 거주밀도 적용에 따른 피난설계는 불필요한 계단의 수를 증가시키거나 그 폭을 크게 하여 결국 비경제적인 설계에 따른 손실이 불가피하게 된다.

따라서 용도별로 적정 거주밀도의 기준을 정하여 이에 필요한 적정 피난수단 용량을 결정하는 설계 기준이 국내 관련 법규에 마련될 필요가 있다.

본 연구의 주요 결과는 아래와 같다.

1) 조사 대상 건물의 거주밀도는 총 바닥 면적 (Gross Area)기준으로 13.14m²/인

-22.69m²/인 (141ft²/인-244 ft²/인), 평균 19.72m²/인 (193ft²/인)이며 순 바닥면적 (NetArea)기준으로 9.18m²/인-15.18 m²/인(98ft²/인-163ft²/인), 평균 12.18m²/인 (131.1ft²/인)으로 조사되었다. (95% 신뢰도 기준)

- 2) 선례연구 결과와 비교할 때, Caro & Milke (1996), Bourdeau (1992)와 평균 거주밀도에서 유사한 분포를 보여 사무소 건물의 경우 한국과 미국간에 큰 차이가 없음을 보여준다. 다만 1970년대 이전 조사결과와는 분포차이가 커 공간기능의 변화에 따라 거주밀도도 변화함을 알 수 있다.
- 3) 총 바닥면적에 대한 순 바닥면적의 비율은 평균 68.93 %로서 비 주거면적이 약 30%정도 차지하고 있으며 이에 따른 평균 거주밀도의 차이는 약 1.5배가 정도가 된다.
- 4) 거주밀도에 따른 피난통로 이동시간의 사례분석 결과, 동일용도 동일평면에서도 192초(Paul 기준)에서 469초(N.B.S. 기준)까지 다르게 나타나 예상 거주자의 수가 적정 피난용량의 산정을 위한 매우 중요한 설계하중임을 지적하고 있다.

■ 참고문헌

1. Bourdeau, M. A. " A Study to Determine the Accuracy of the Occupant Load Factor of 100 sq.ft per Person Gross, for Building Occupancy." College Park: Department of Fire Protection Engineering. University of Maryland. May. 1992.
2. Johnson, B.M and Jake Pauls. "Report of a Study Carried out in Conjunction with Canada National Health and Welfare - As part of a Pilot Study on Personnel Movement in Office buildings." National Research Council of Canada, Division of Building Research. 1977.
3. Cormier, Donald, James De Wolf, Donald Henning, and Joanne Schneider. "Office accomodation Study Analysis of Existing Floor Plans Supplementary Study No.1." Building Design Performance Division Technological Research & Development Branch. 1977.
4. Tony Caro and James A. Milke. " Evaluation of Survey Procedures for Determining Occupant Load Factors in Contemporary Office Buildings." NIST-GCR-96-698. USA.1996.
5. Harold E. "Bud" Nelson and Hamish A. MacLennan. "Emergency Movement" SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Sec.3 Chp.14, 2nd Edition. NFPA. USA.1995
6. Jake Pauls. "Movement of People" SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Sec. 3 Chp. 13. 2nd Edition. NFPA. USA. 1995.