

냉동 창고 상시 적재하중에 관한 확률론적 연구

Probabilistic Analysis of Design Live Loads on A Refrigeration Store

김 대 호* 정 재 훈** 원 영 술*** 주 경 재****
Kim, Dai-Ho Jeong, Jae-Hun Won, Young-Sul Joo, Kyung-Jai

Abstract

Live load data were collected with a systematic manner from a survey of a refrigeration stores. Using the collected floor live load survey data, the basic statistics, a histogram of the uniformly distributed loads, and the equivalent uniformly distributed loads are computed for various structural members.

Based on the above results, the maximum values of a combined live loads during the design life have been estimated and compared with current design live loads.

The ultimate goals of this study are to develop probabilistic live load models to analyze survey data of domestic refrigeration stores, and to propose design live loads for structural types.

keywords : Refrigeration store, Survey, Influence area, Probabilistic, Design live loads.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근에는 냉동상품의 개발이 눈에 띄게 활발해짐에 따라 냉동창고의 양적인 팽창은 물론 각 품목의 유통

방법에 따른 질적인 향상이 요구되고 있다. 건설교통부에서는 단계적으로 유통단지의 개발 및 공급을 발전 시킬 예정이며, 따라서 부가성이 높은 냉동 및 냉장창고의 중요성이 매우 커지고 있다. 그러나 기존의 냉동 및 냉장창고의 구조설계시 활하중이 제시되지 않아 비경제적인 설계가 되고 있으며 2000년 제정된 "건축물

* 전국대학교 박사과정

** 서일대학 겸임교수, 공학박사

*** 전국대학교 겸임교수, 공학박사

**** 전국대학교 명예교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회도 보내 주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

하중기준 및 해설¹⁾에서도 경량품 창고는 600kgf/cm²이며, 중량품 창고는 1,200kgf/cm²로 규정되어 있어 냉동창고의 활하중에 대한 정확한 자료가 없다. 따라서 본 연구에서는 농·수·축산물 냉장창고의 활하중을 조사하고 분석하여 활하중 값을 산정하여 그 통계치를 종합 제시함으로써 농·수·축산물 냉장창고의 활하중 산정에 대한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다. 또한, 추후 본 연구를 계속 진행하여 활하중의 확률적 모델을 선정하며, 선정된 하중으로 구조소손보하여 냉동 및 냉장창고의 효율적이고 경제적이며 표준화된 구조형식의 기초자료를 제안하는데 목적이 있다.

1.2 연구 방법

활하중의 확률적 특성을 분석하기 위한 가장 기본적인이며 중요한 단계가 활하중의 측정이다. 하중측정을 위해서는 우선 모집단이 되는 냉동창고의 분포특성을 잘 반영할 수 있는 대상집단을 선정하여야 하는데, 본 조사에서는 무작위 추출방법을 이용하여 냉동창고에 적재되고 있는 물품과 그 하중을 조사하였다. 또한 본 연구에서는 기본 하중요소에 대한 통계자료를 수집하여 모형화하고, 공간적 밀집에 의해 구조물에 발생하는 하중효과는 모의 하중발생법을 통해 그 특성을 분석하였다.

활하중은 구조물의 사용에 따라 수용 및 적재되어지는 사용자와 물품등의 중량으로서 하중의 이동, 편재, 집중 등이 항상 예상되어지는 중력방향의 하중이다. 이때의 물품들이란 구조물 특히 사용자가 그들의 사용 목적에 의해 반입, 설치하는 것들로서 항상 이동배치가 가능하며 시간의 경과에 따라 하중의 크기도 변화하여 일반적으로 구조물의 설계시에 정확히 그 크기나 변화빈도등을 예측하기가 어렵다는 특성을 가지고 있다. 이러한 불확실성 요인들은 주로 하중의 발생시기(또는 변화시기) 발생강도, 지속시간등이며, 이를 합리적으로 반영하기 위해서 일반적으로 확률변수보다는 확률과정을 이용하여 하중을 모형화한다.¹⁴⁾

포아슨 막대 확률과정은 여러 가지 확률과정 모델들 가운데에서 정적하중의 모형화를 위해 가정 널리 사용되는 확률과정이다.

또한 각각의 하중은 Gamma 확률 분포를 따르는 것으로 알려져 있어 이를 대표 확률 분포로 하여 조사된 현장 자료의 적합성을 검증한다. 통계분석방법은 아래와 같다.

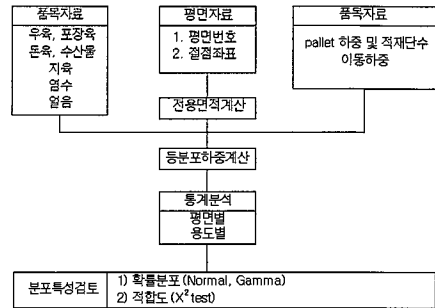


Fig. 1 활하중의 통계분석 방법

2. 활하중의 확률적 모형

2.1 확률적 모형

조사 활하중을 구조설계시 필요한 설계활하중으로 전환시키기 위해 알고자 하는 기본 정보는 건물의 예상 사용기간 동안에 활하중의 시간적 및 공간적 변화에 대한 확률적 거동 즉 확률과정에 관한 것이다. 이는 많은 조사대상면적내의 하중을 장시간에 걸쳐 연속적으로 조사하는 것을 요구한다. 그런데 이러한 절차는 너무 광범위하고 불가능하다.

따라서 기본 정보를 얻기 위해서는 확률과정으로 시간과 공간에 대해 상상확률과정 즉 어떤 면적에서의 시간에 따른 하중에 대한 확률분포는 동일하고 또한 어떤 시간에 대해 여러 면적에서의 하중은 동일한 확률분포를 갖는다는 가정을 사용하는 것이다. 아래와 같이 시간과 공간을 고려한 두 개의 확률분포는 동일하게 된다.¹⁵⁾

면적 A 의 하중강도 $w_{ij}(x, y)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹⁶⁾

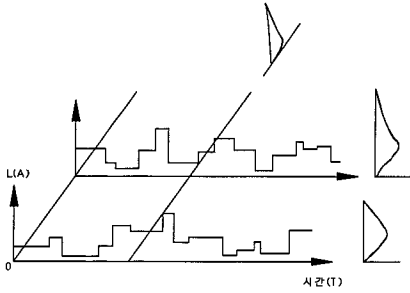


Fig. 2 하중이력파 이들의 시간 및 공간의 빈도분포

$$\omega_{ij}(x, y) = m + \gamma_{bid} + \gamma_{jir} + \epsilon(x, y) \quad (1)$$

여기서 m 은 전체 평균하중강도, γ_{bid} 은 j 건물 m 에서의 하중강도의 편차, γ_{jir} 은 $m + \gamma_{bid}$ 로부터 층의 하중강도의 편차, ϵ 은 주어진 층하중의 공간 불확실성이다. 모든 경우는 아니지만 변수 γ 와 ϵ 은 평균 0을 가지는 확률변수이고, 변수는 서로 독립이라 가정한다. 이 모델에서 주어진 불확실성은 2차 모멘트로도 충분하므로 ω_{ij} 의 평균은 간단히 $\mu_w = m$ 이고, 분산은 다음 식에 의하여 주어진다.^{13),14)}

$$\sigma_w^2 = \sigma_{bid}^2 + \sigma_{jir}^2 + \sigma\epsilon^2 \quad (2)$$

상기 모델을 이용하기 위해서는 σ_{bid} , σ_{jir} 과 $\sigma\epsilon$ 은 반드시 구해져야 한다. 이것은 조사자료로부터 가능하다. 크기가 $a \times b$ 인 주어진 면적 A 에 대해서 생각하면, 이 면적에 작용하는 전체 하중은 $L(A)$ 로 주어진다.

$$L(A) = \int_0^a \int_0^b \omega(x, y) dx dy \quad (3)$$

그리고,

$$\begin{aligned} E[L(A)] &= \int_0^a \int_0^b E[\omega(x, y)] dx dy \\ &= \int \int m dx dy = mA \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} var[L(A)] &= \int_0^a \int_0^a \int_0^b \int_0^b cov[\omega(x_1, y_1), \omega(x_2, y_2)] dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \\ &= \int_0^a \int_0^a \int_0^b \int_0^b (\sigma_{bid}^2 + \sigma_{jir}^2 + cov[\epsilon(x_1, y_1), \epsilon(x_2, y_2)]) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \end{aligned} \quad (5)$$

만약 $cov[\]$ 가 주어지면 뒷 식을 계산할 수 있다. 하나의 방법은 공분산이 점 1과 점 2사이의 거리에 반비례하는 것을 이용하면 된다. 즉,

$$cov[\] = \rho_c \sigma_\epsilon^2 e^{-\gamma^2/d} \quad (6)$$

여기서 $\gamma^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2$, a 는 상수, ρ_c 는 층간의 상관계수, $\sigma\epsilon^2$ 은 ϵ 의 분산이고, γ 는 수평, ρ_c 는 수직 매개변수이다. 일반적으로 ρ_c 는 위치에 따라서 다르다. 이들 중 상수 d 와 매개변수 ρ_c 와 $\sigma\epsilon^2$ 은 실측으로부터 구해진다. 한 층에 대해서 $\rho_c = 1$ 이면 (5)는 다음과 같이 줄일 수 있다.

$$var[L(A)] = (\sigma_{bid}^2 + \sigma_{jir}^2) A^2 + A \pi d \sigma_\epsilon^2 K(A) \quad (7)$$

여기서

$$K(A) = [erf(A/d)^{1/2} - (d/A\pi)^{1/2} (1 - e^{-A/d})]^2$$

이고, erf 는 오류함수이다.

하중 $L(A)$ 는 면적 A 로 나눈 평균 즉, $L(A)/A = U(A)$ 인 단위면적당 하중으로 변환시킬 수 있다. 여기서 평균은 $E[U(A)] = m$ 이고 분산은 다음과 같이 주어진다.

$$var[U(A)] = \sigma_{bid}^2 + \sigma_{jir}^2 + \pi d \sigma_\epsilon^2 K(A)/A \quad (8)$$

같은 면적 A 를 갖는 n 층의 분산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} var[U(A)] &= \sigma_{bid}^2 + \sigma_{jir}^2/n + \pi d \sigma_\epsilon^2 K(A)/nA \\ &\quad + \rho_c \sigma_\epsilon^2 (n-1) K(A)/nA \end{aligned} \quad (9)$$

$\sigma_{\text{tot}}^2 + \sigma_{\text{nr}}^2$, $\sigma \epsilon^2$ 과 a 는 변이계수 $\{\text{var}[U(A)]\}^{1/2}/m$ 과 면적 A 의 관계에서 구할 수 있다. 반면 ρ_c 와 σ_{tot}^2 은 기동하중의 변이계수 $\{\text{var}[U(A_n)]\}^{1/2}/m$ 과 지지층수 n 과의 관계에서 구할 수 있다.

일반적으로 구조물의 사용기간동안 그에 작용하는 여러 하중들은 많은 불확실성 요소를 내포하고 있다. 이러한 불확실성 요소들로는 주로 하중의 발생시기(또는 변화시기), 발생강도, 지속시간 등을 들 수 있고, 건축구조물에 작용하는 활하중 역시 이러한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

작용하중에 내재하는 시간적 변화특성을 합리적으로 반영하기 위해서는 확률변수보다는 확률과정을 이용하여 하중을 모형화하는 것이 보통이다.

포아송 막대 확률과정은 여러 가지 확률과정 모델들 가운데에서 정적하중의 모형화에 가장 널리 사용되는 확률과정이다. 하중의 발생시간은 포아송 확률과정의 각 점으로, 그의 발생빈도는 포아송 확률과정의 평균 도착빈도 λ 에 의해 모형화되며, 작용시간(또는 지속시간)은 평균 작용시간 μd 에 의해 모형화된다. 따라서 상시작용하중의 경우에는 $\lambda \mu d = 1$ 이며, 일시작용하중인 경우에는 $\lambda \mu d < 1$ 이다.

각각의 발생시기에서의 하중의 크기는 그 특성을 잘 나타내어주는 임의의 확률변수로 모형화 되어져야 한다. 예를 들어 일반적인 활하중의 시간적 변화특성은 포아송 확률과정에 의해 표현되며, 그 각각의 강도는 감미확률분포를 따르는 것으로 알려져 있다.^{10), 11), 16)}

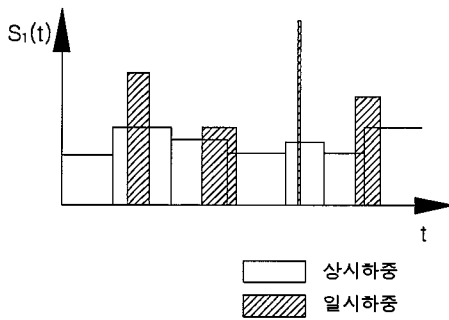


Fig. 3 상시하중과 일시하중

여기에서 각각의 발생시기에서의 하중강도는 서로 확률적인 독립성을 갖는 것으로 가정한다.

본 연구에서는 용도가 창고인 특성상 상시하중과 일시하중의 차이가 크지 않아 상시하중에 관한 확률적특성을 수집된 하중으로부터 분류하고 감미분포 및 정규분포와의 적합성을 검토한다.

2.2 활하중의 통계적 해석기법

확률이론에 기초한 구조물 신뢰성 해석기법은 이용하여 현행 설계규준이나 설계하중을 결정하고자 할 때, 가장 기본적으로 필요한 자료는 설계내상(구조물의 강성, 작용하중 등)들의 불확실성요소를 합리적으로 모형화할 수 있는 확률분포이다. 여기서 필요한 확률적 특성은 구조물의 강성, 작용하중의 강도, 작용하중의 발생빈도 및 지속시간, 작용하중들간의 동시발생빈도(coincidence rate) 등에 따라 달라진다.

체계적으로 수집된 하중자료(물품자료 등)을 이용하여 산정된 활하중(단기등분포하중 또는 등가등분포하중)의 확률적 특성을 분석하기 위한 첫 번째 단계는 활하중의 평균과 표준편차를 전체조사창고 및 각 지역별(개륙, 해안가)로 산정하는 것이다. 활하중자료로부터 평균 및 분산의 산정은 각각 다음의 식에 의해 구한다.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (11)$$

여기서, X_i : i 번째 활하중자료

n : 전체자료의 수

두 번째 단계는 활하중자료의 빈도분포(frequency distribution) 또는 주상도(histogram)를 작성하여 전체적인 분포특성을 파악한 후, 활하중의 분포특성을 보다 잘 재현하여 주는 확률분포를 선정하고 그 분포의 형태를 결정하는 계수들을 산정하는 것이다.

이와 같이 설정된 확률분포를 이용하여 구조물 사용기간동안에 발생가능한 극한치의 특성을 상시하중과 일시하중, 그리고 그들의 조합효과에 대해 분석하는 것이다. 최근 확률분포의 선정은 일반적으로 수치적인 방법이나 그래프식 방법을 이용한 적합도 검정¹²⁾을 통하여 하는데, 이 두 가지 방법을 병행하는 것이 효과적이다. 수치적인 방법으로는 Chisquare Test (χ^2 test)와 K-S Test가 사용되는데, 이들은 사기 상점 및 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 chi-square(χ^2 test)에 의하여 검토한다.

그래프식 방법은 선정대상의 확률분포에 대한 확률용지위에 조사자료를 도시에 보거나, 조사자료의 극상도의 위에 대가확률분포들을 함께 도시하여 그들의 적합성을 시각적으로 비교하여 결정하는 방법이다. 이 방법은 일반적으로 수치적인 적합성검도에 대한 보완적인 역할을 한다.

적합도 검정과 더불어 최근 확률분포의 선정과정에서 중요한 것은 대상확률분포의 특성을 잘 이해하여 분석자가 합리적인 판단을 하는 것이다. 특히 중요한 대상확률분포의 특성은 분포함수의 양단꼬리에서의 확률함수의 감소특성과 확률분포함수의 이용상에서 나타나는 편의성등이라 할 수 있다.

앞에서 언급한 적합도 검정은 대부분 확률분포함수의 중앙부에서의 적합성에 치중되어 있다. 그러나 실제로 분석자가 관심이 있는 부분은 양단꼬리에서의 적합성인데, 하중모형의 경우에는 상단꼬리에서의 감소특성이다. 대부분 양단부의 자료가 부족하여 수치적 적합도 검정법에만 의존하여서는 합리적인 하중모형을 선정하기가 어렵다. 이러한 분석을 위해서는 많은 경험과 다른 조사연구결과와의 비교 및 검토가 필요할 것이다.

선정된 확률분포함수의 형태를 결정하는 확률매개변수들의 산정에는 적률법(또는 모멘트법등이 이용되는데, 본 연구에서는 적률법을 이용하였다.

적률법이란 확률분포계수를 확률변수의 1차 및 2차 모멘트와의 연계식으로부터 산정하는 것이다. 1차 모멘트란 평균을, 2차 모멘트란 분산 또는 표준편차를 말한다.

본 연구에서 주로 이용하게 될 확률분포들에 대한 이들의 연계식은 다음과 같다.

정규분포에 있어서는 다음 식과 같이 평균과 편차가 바로 확률분포계수로 이용된다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (12)$$

여기서, $-\infty < X < \infty$ 이며 $\mu = \bar{X}$, $\sigma = S$

감마분포(gamma distribution)에서는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{\nu(\nu x)^{\nu-1} e^{-\nu x}}{\Gamma(\nu)} \quad (13)$$

여기서, $x \geq 0$ 이며 $\nu = \frac{\bar{X}}{S^2}$, $K = \left(\frac{\bar{X}}{S^2}\right)^2$

3. 조사대상 선정 및 하중조사

3.1 조사대상 선정

활하중의 확률적 특성을 분석하기 위한 가장 기본적인 중요 단계가 활하중의 측정이다. 활하중은 일반적으로 상시하중과 일시하중으로 구분되는데 기초적 하중을 측정하기 위해서는 우선 모집단이 되는 전국 냉동창고의 하중분포 특성을 잘 반영해줄 수 있는 대상 집단을 선정해야 한다.

냉동창고의 통계적 특성을 분석하기 위하여 전국의 지역별(내륙·해안가), 용도별 특성을 고려하여야 한다. 또한 냉동창고는 대체적으로 성형식으로 이루어져 있으므로 본 연구는 조사 가능한 냉동 및 냉장창고를 선정하여 현장조사를 수행한 후 통계 분석한다.

현재 진행중인 현장 조사는 추후 분석하여 본 연구와 비교토록 한다. 전국 냉동 및 냉장창고의 현황 및 조사대상 건물현황은 Table 1과 같다.

Table 1 전국 냉동 및 냉장창고 현황

시도	종류	전국냉동창고	조사대상건물	비율(%)
서울		11	2	18.18
부산		76	10	13.15 *
대구		10	1	10
인천		7	1	14.28
대전		1	0	0
경기		63	9	14.28
충북		5	0	0
충남		5	0	0
전북		1	0	0
전남		2	0	0
경북		15	2	13.3
경남		24	5	20.8 *
계		224	26	11.6

* 표는 현재 조사 진행중임.

3.2 하중조사

하중조사시 가장 먼저 시행하여야 할 작업은 창고의 기능상 창고 적재물, 냉동설비, 풀탱크, 지게차, 단열 및 제빙을 위한 시설들이 하중으로 작용하고 있으며 구조물의 일부는 육류처리실, 사무실 등으로 사용되고 있어 하중의 조건이 비교적 복잡하고 다양하다.

본 연구에서는 냉동 및 냉장창고의 적재물의 빈도를 조사하고 각 품목의 적재 방식이 냉장창고의 경우 냉장물이 주로 채소류 및 과일이므로 가구식 적재이며, 냉동창고에서는 PALLET에 의하여 적재되었다. 현장조사 결과 냉동과 냉장의 적재비율이 대체로 10:1 정도이며 냉동 활하중이 상대적으로 크므로 냉동 적재물을 구분하고 이에 따른 PALLET의 하중을 조사하였다.

하중은 현장조사 및 설문에 의하여 조사하였다. 또한 회사별로 PALLET크기 및 적재 단수를 현장조사 하였다. 하중의 현장조사 방식은 Table 2와 같다. PALLET의 하중조사 결과는 Table 4, Fig. 5, Fig. 6과 같다.

냉장물은 주로 야채나 과일류이며 가구당 최대 972kg 정도 적재되었다. 기타물품으로는 쥬스원액 1140kg 냉동감자 600~800kg이었으며, 수산물들은 이면

수, 동태, 오징어, 참치, 꽁치, 게 등의 모든 수산물을 대상으로 하중산정하였다.

또한 조사된 냉동 및 냉장창고의 적재 빈도 축산물이 가장 많았으나, 창고의 특성상 지역별(내륙, 해안

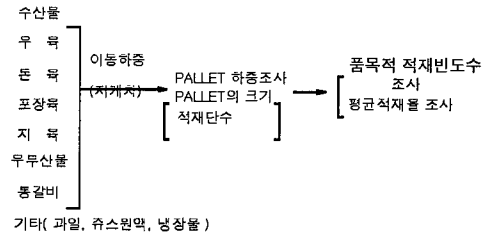


Fig. 4 하중의 현장조사 방식

Table 2 PALLET 하중조사(kgf)

하중 품목	최대값	최소값	평균	표준편차	변동율 (%)
수산물	1200	600	943	212.8	22.5
우육	1000	500	871	166.6	19.12
돈육	1200	800	988	112.49	11.41
포장육	1000	500	850	180.28	21.2
지육	1000	700	838	150	17.65
우부산물	1000	600	900	154.9	17.2
통갈비	1000	600	850	165.8	19.51

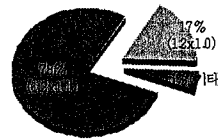


Fig. 5 PALLET 크기



Fig. 6 PALLET 적재단수

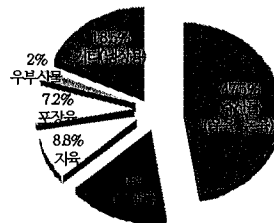


Fig. 7 적재 물품별 빈도수

가)로 적재물 종류에 따른 빈도는 많은 차이가 있는 것으로 나타났다.

조사된 냉동 및 냉장창고의 적재율은 평균 86.7%인 것으로 조사되었으며 적재율은 Table 3과 같다.

기타 하중이 가장 큰 이동하중이 작용할 경우는 음료원료(260kgf/EA)20EA를 1PALLET(1.2X1.0m)에 놓여있을 때 단위 얼음을 1개 가량 쌓아 놓은 경우도 있었다.

적재물의 이동은 지게차에 의하여 지며 지게차의 하중 및 활하중은 Table 4와 같으며, 이동의 하중이 가장 큰 경우는 시계차로 PALLET 2단 적재후 운송하는 경우이다.

Table 3 냉동 및 냉장창고의 적재율

적재율	비율(%)	평균(%)	표준편차	변동율(%)
100	22(%)	86.7	9.48	10.88
90	33			
80	33			
70	12			
계	100(%)			

Table 4 지게차의 하중 및 활하중

자중(kg)	활하중(kg)	접유면적
2500	2500	4 WHEEL
1500	1500	4 WHEEL
1200	1000	4 WHEEL

Table 5 단순등분포하중

품목	하중	최대 중량(kgf)	최소 중량(kgf)	평균 중량(kgf)	단순등분포하중(kg/m ²)		
					최대	최소	평균
수산물	1200	600	943	2500	1200	2000	
우육	1000	500	871	2100	1000	1800	
돈육	1200	800	986	2500	1700	2000	
포장육	1000	500	850	2100	1000	1800	
지육	1000	700	838	2100	1500	1800	
우부산물	1000	600	900	2100	1200	1900	
통갈비	1000	600	850	2100	1200	1800	
쥬스원액	1140	1140	1140	2400	2400	2400	
냉동감자	600	800	700				

* PALLET 의 크기 1.2 X 1.0 m, 적재단수 3단, 적재물 86.7% 기준으로 산정하였음.(얼음 및 쥬스원액 제외)

따라서 본 연구는 하중산정시 PALLET크기는 현재 78%정도 사용되는 1.2m X 1.0m, 적재단수는 작업이 가장 용이하며 현재 85%정도 사용되는 3단을 기준으로 한다. 또한 음료원료 및 얼음의 적재는 이동 및 중량의 문제로 지층에 배치하므로 하중산정에서 제외한다.

3.3 단순등분포 하중의 분석

조사된 하중 자료로부터 단순등분포하중을 적재물별로 산정하였다. 단순등분포하중은 어떤 영역에 재하된 총 활하중을 영역면적으로 나눈 단위면적당 활하중으로, 하중의 작용을 받는 구조물의 역학적 특성과는 관계 없이 단순히 영역별 또는 용도별로 활하중의 크기를 보여주는 데 이용된다. 따라서 본 조사의 대상이 되는 냉동 및 냉장 창고의 주요 적재물별로 단순등분포 하중을 산정하였다.

적재물하중의 최소, 최대의 차이가 2배 정도 차이가 나는 것도 있어 향후 설계시 하중차가 크게 나는 적재물은 특수 용도로 미리 계획하여야 하겠다.

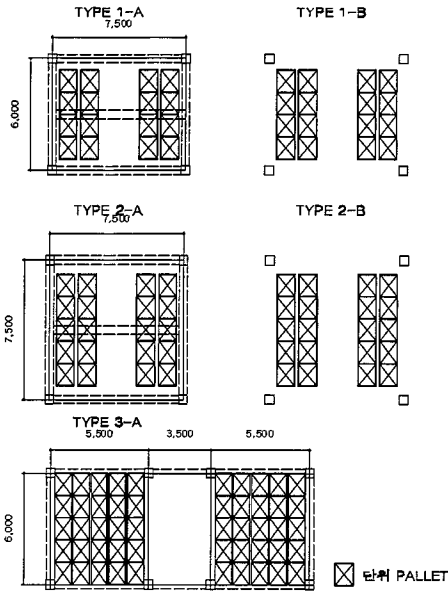
4. 등가등분포 하중의 확률론적 분석

4.1 분석방법

등가등분포하중은 불규칙한 평면배치를 가지는 실제의 재하상태에서와 같은 하중효과를 재현하는 등분포하중이므로, 먼저 실제 재하 상태에서의 각 부재의 최대하중 효과를 산정하여야 한다.

냉동 및 냉장 창고는 PALLET크기에 의하여 기본 모듈이 정하여 진다. 따라서 기본 스펜은 그림과 같이 사용이 많이 되는 3TYPE의 모듈을 정하였으며, 등가등분포 하중 산정시 기동 배치는 상하, 좌우로 3경간씩 하였다. 또한 단위 PALLET하중은 최대값으로 3단이상 적재시 일단의 물품파손으로 더 이상의 적재가 어려우므로 평균값 적용이 타당하다.

적재물의 각종 재하상태를 구조물에 그대로 적용하



- TYPE 1 : 6,000 X 7,500
- TYPE 2 : 7,500 X 7,500
- TYPE 3 : 5,500 X 6,000 통로 분리형
 - A : 라멘구조
 - B : 플랫폼레브 구조

Fig. 8 등가등분포 하중 신장을 위한 기본 모델

여 구조해석한 실제 하중재하시의 응력값과 등분포하중을 재하시켰을 때의 응력값을 구한 후, 이로부터 등가등분포하중값을 구하였다. 이를 위해 본 연구에서는 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS GEN_w를 사용하였다.

하중산정과정은 구조형식을 모멘트골조구조와 플랫폼슬레브구조로 구분하여 구조해석을 위한 유한요소모델을 이용하였다.

본 연구에서는 수산물물 기준으로 등가등분포하중을 산정하고 산정 값을 나머지 적재품목에 적용한다.

4.2 이동하중의 등가등분포하중 산정

이동하중은 지게차의 자중 2500kgf 최대활하중 2500kgf을 기준으로 산정하였다. 지게차는 각 TYPE의 통로를 통하여 적재 및 이동이 이루어지므로 통로



Photo 1 물품이동 방식

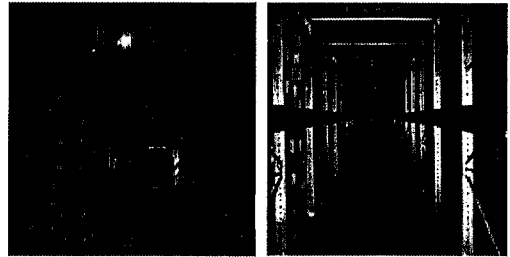


Photo 2 물품적재방식

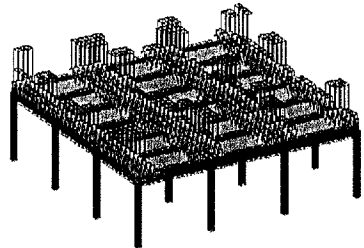


Fig. 9 재하 모델링

Table 6 이동하중의 등가등분포하중(kgf/m²)

	슬레브	보	기둥
TYPE 1-A	1100	204	348
TYPE 1-B	553		160
TYPE 2-A	545	344	144
TYPE 2-B	361		121
TYPE 3-A	590	421	259

슬레브위·보위를 이동할 때를 기준으로 등가등분포 하중을 산정하였으며, Table 6에서 나타났듯이 TYPE 1-A의 슬레브에서 최대값을 보이고 있다. 적재물이 100% 적재되어 있을 경우 시게차는 필요 적

재물을 적재하여 탈고하므로 활하중의 최대값이 이동 하중값을 초과할 경우에는 산출된 활하중에 이동하중을 추가시킬 필요는 없다고 판단된다.

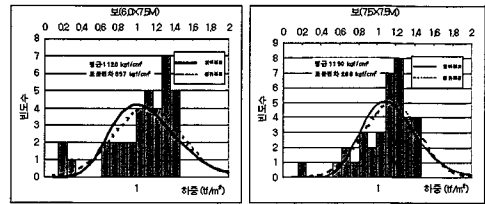
4.3 구조 부재별 등가등분포하중 산정

1) 슬래브

플랫 슬래브 및 일방향 슬래브로 나누어 5경우의 등가등분포 하중을 산정 하였다. 이 경우 단면 및 장변방향의 휨 모멘트에 대한 등가등분포 하중을 산정한 후, 이들 중 최대 등가등분포 하중을 택하였다.

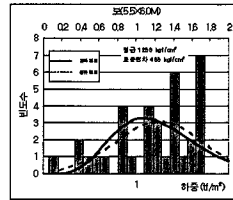
2) 보

보에서는 양단부와 중앙부에서의 휨모멘트에 대한 등가등분포 하중을 산정하여 각 TYPE별 최대 등가등분포 하중을 산정하였다.



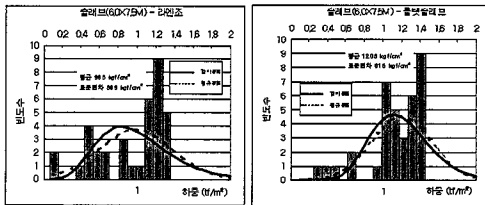
TYPE 1-A

TYPE 2-B



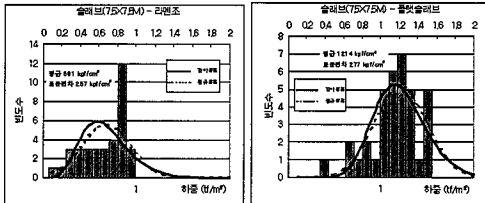
TYPE 3-C

Fig. 11 등가등분포하중 분포도(보)



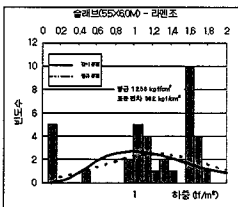
TYPE 1-A

TYPE 1-B



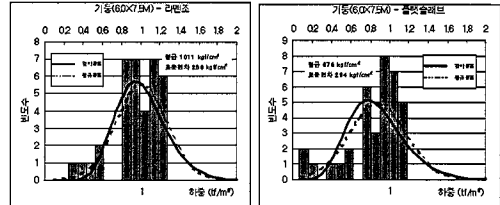
TYPE 2-A

TYPE 2-B



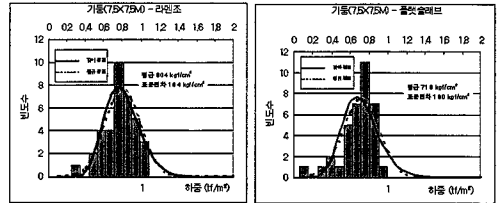
TYPE 3-A

Fig. 10 등가등분포하중 분포도(슬래브)



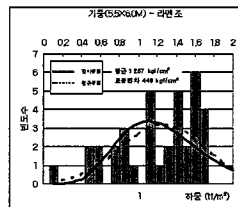
TYPE 1-A

TYPE 1-B



TYPE 2 A

TYPE 2 B



TYPE 3-A

Fig. 12 등가등분포하중 분포도(기둥)

3) 기둥

기둥은 내부 및 외부기둥의 축력 및 휨 모멘트 중 큰 값으로 등가등분포 하중을 산정하였다.

4) 결과 분석

본 연구에서 대상이 되는 5가지 구조형식의 수산물 등가등분포 하중 산정 결과를 각 구조형식 별로 정리하였다. 모멘트 골조의 슬래브는 적재물을 밀집하는 석재방식(TYPE-3)의 등가등분포 하중이 가장 크게 나타났다. 이 값은 플랫폼슬래브 등가등분포 하중보다 크게 나타났다.

보, 기둥에서(TYPE-3)의 방식이 가장 큰 등가등분포 하중을 나타내었고, 또한 슬래브 보다는 보가 더 큰 값으로 나타났으며 각 TYPE별 각각 슬래브, 기둥은 비슷한 표준편차를 나타내고 있다.

최대값 및 평균값을 기준으로 한 각 품목별 등가등분포도 하중은 Table 8, 9, 10과 같다.

4.4 등가등분포 하중의 최적 확률분포의 분석

냉동 및 냉장창고(등가등분포하중)의 분포 특성을 분석하기 위하여 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에 부재별로 분포도와 활하중에 널리 이용되는 Gamma분포를 정리하였다. 또 Table 11에 확률분포의 적합도 검

Table 8 적재품목별 등가등분포하중(슬래브, kgf/m²)

슬래브	TYPE 1-A	TYPE 1-B	TYPE 2-A	TYPE 2-B	TYPE 3-A
수산물	1411 (993)	1536 (1203)	963 (681)	1650 (1214)	1875 (1256)
우육	1303 (916)	1418 (1110)	889 (628)	1523 (1120)	1731 (1159)
돈육	1467 (1032)	1597 (1251)	1001 (708)	1716 (1262)	1800 (1306)
포장육	1270 (893)	1382 (1082)	866 (613)	1452 (1068)	1650 (1105)
지육	1241 (873)	1351 (1058)	847 (599)	1452 (1068)	1650 (1105)
우부산물	1340 (943)	1459 (1142)	914 (647)	1567 (1153)	1781 (1193)

() : 평균값

Table 9 적재품목별 등가등분포하중(부, kgf/m²)

부	TYPE 1-A	TYPE 2-A	TYPE 3-A
수산물	1541(1120)	1545(1150)	1811(1253)
우육	1422(1033)	1426(1061)	1671(1156)
돈육	1602(1165)	1606(1196)	1883(1303)
포장육	1387(1008)	1390(1035)	1630(1127)
지육	1356(985)	1359(1012)	1593(1102)
우부산물	1464(1064)	1467(1092)	1720(1190)

() : 평균값

Table 7 수산물 등가등분포하중(kgf/m²)

부세	항목	TYPE 1-A	TYPE 1-B	TYPE 2-A	TYPE 2-B	TYPE 3-A
슬래브	평균	993	1203	681	1214	1256
	표준편차	389	316	257	277	582
	Max	1411	1536	963	1650	1875
	Min	58	350	48	382	36
보	평균	1120		1150		1253
	표준편차	357		288		465
	Max	1541		1545		1811
	Min	201		189		95
기둥	평균	1011	876	804	718	1267
	표준편차	258	294	184	190	449
	Max	1328	1224	1073	977	1779
	Min	341	106	283	86	105

Table 10 적재품목별 등가등분포하중(기둥, kgf/m²)

기둥	TYPE 1-A	TYPE 1-B	TYPE 2-A	TYPE 2-B	TYPE 3-A
수산물	1328 (1011)	1224 (876)	1073 (804)	977 (718)	1779 (1267)
우육	1225 (933)	1129 (808)	990 (742)	901 (662)	1642 (1169)
돈육	1381 (1051)	1273 (911)	1115 (836)	1016 (746)	1850 (1317)
봉갈비 포장육	1195 (909)	1101 (788)	965 (723.6)	879.3 (646)	1601 (1140)
지육	1168 (889)	1077 (770)	944 (707)	859 (631)	1565.5 (1114)
우부산물	1261 (1198)	1162.8 (832)	1019 (764)	928 (682)	1690 (1203)

() : 평균값

정 결과가 χ^2 - test에 대하여 정리되어 있다.

창고의 특성상 하중의 확률분포 모형을 선정할 때 가장 중요한 것은 상부극한값 부분의 특성이다. 대수 정규분포를 이용할 경우 Gamma분포에 비해 매우 긴 상단꼬리를 가지게 되어 사용기간 극한값 분석에서 매우 다른 결과를 보이게 된다.

따라서 본 연구에서는 Gamma분포를 대표모형으로 선정한다.

TYPE 2(7.5m X 7.5m)에서 95%이상 유의수준에서 감마분포와 일치하는 것으로 나타났다.

TYPE 1과 TYPE 3은 대략 50%정도 유의수준에서 감마분포와 일치하는 것으로 나타났다. 이와 같은 유의도의 차이는 조사빈도수와 편편이 있으리라 판단되며 계속 진행중인 조사값과 빈도수를 추가할 경우 오차값의 차이는 줄어들 것이다.

Table 11 등가등분포하중의 부재별 적합도 검정

TYPE	슬래브		보		기둥	
	χ^2	P(%)	χ^2	P(%)	χ^2	P(%)
TYPE 1-A	21.6	30	15	70	16.2	60
TYPE 1-B	20.8	50			18	50
TYPE 2-A	12.3	90	9.9	97	4.6	99.5
TYPE 2-B	9.8	97			8.7	97
TYPE 3-A	28.2	10	18.4	50	16.8	60

5. 결론

본 연구에서 분석된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 냉동 및 냉장창고 하중 산정시 단순등분포 하중은 등가등분포 하중에 비하여 최고 2배 가량 많은 하중으로 부재설계 되므로 구조계산이나 진단시 단순등분포 하중의 적용은 매우 비경제적이다.
- 2) 적재품목별 냉동 및 냉장창고의 적재형식에 따른 하중을 부재별 등가등분포하중의 큰 값을 기준으로 정하면 아래와 같다.

Table 12 적재품목별 적재형식에 따른 하중(kgf/m²)

종 류	라멘구조		플랫슬래브
	일반형 (TYPE 1,2)	통로분리형 (TYPE 3)	
수산물	1545	1811	1650
축산물	1600	1883	1716
포장육	1390	1630	1450
냉장물	1200	1200	1200

기타 얼음 및 음료원료의 활하중은 사용 적재단수에 의하나 이동 및 지장 등의 문제로 지면과 맞닿는 층에 배치함이 타당하다. 플랫슬래브는 최대 스패 7.5m를 기준으로 한다.

- 3) 지게차 저중 2.5t 적재용량 2.5t을 기준으로 할 때 이동하중에 의한 최대 등가등분포 하중은 1100kgf/m²이다. 단, 활하중의 최대값이 이동 하중 값을 초과 할 경우 산출된 활하중에 이동 하중을 추가시킬 필요는 없다.
- 4) 통로분리형의 평면사용시 하중 집중에 따른 등가등분포 하중값이 크므로 장스팬의 적용은 구조적으로 매우 불리하다.
일반형 라멘구조에서는 영향면적이 클수록 등가등분포 하중은 작아지나, 플랫슬래브 구조형식에서는 면적이 커짐에 따라 적재물량도 함께 증가하므로 보가 없는 구조 특성상, 영향 면적이 커지면 등가등분포 하중도 커지는 것으로 나타났다. 또한 장변과 단변을 동일하게 휨수축 작은 등가등분포 하중을 적용할 수 있었다.

- 5) 하중의 확률분포 모형은 Gamma분포를 대표모형으로 선정하여 χ^2 Test에 의한 적합도의 검정결과 Type 2에서는 95%이상의 유의수준에서 일치하였으나 Type 1과 Type 3에서는 50%가량의 유의수준에서 일치하였다.

- 6) 현장조사결과 PALLET의 규격 및 적재단수가 다양하여 기존 구조물의 설계 및 안정성에 유해 요소가 되고 있다. 적재단수는 3단이하 최대 층고 6m이하 PALLET크기는 현재 많이 사용되는 1.0m X 1.2m보다는 1.1m X 1.1m로 하며, 한단 적재는 용량 1500kgf 지게차가 2 PALLET 이동 가능한 평균 750kgf로 함이 냉

동 및 냉장의 온도유지 및 적재물 이동에도 효율적이다. 또한 냉동 및 냉장창고의 평면은 규칙화하며, 적재물 이동의 자동화를 가능하게 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 대한 건축학회, "건축물 하중기준 및 해설" 2000.
2. 김상효외 한국건설기술 연구원, "구조물의 신뢰성에 관한 연구", 1989.
3. 정병열, 김상효, 이수관, "모의하중 발생법에 의한 학교 교실 활하중 추정", 대한건축학회 논문집 7권, 4호, 1991.7.
4. 조형근, "사무실 건물의 활하중에 관한 확률적 모형 연구", 고려대학교 1990.
5. 함성권, "기본건축 구조역학"
6. 木下一也, 神田順, "사무소건축용 활하중의 조사," 일본 건축학회대회 학술강연경개집(北陸), 1983.9. pp. 2449-2450.
7. 木下一也, 神田順, "사무실용 활하중의 불품편재하중 및 바닥용 동가분포하중," 일본건축학회대회 학술강연경개집(關東), 1984. pp.225-228.
8. 木下一也, 神田順, "사무실용 활하중의 물품편재하중 모델," 일본건축학회대회 학술강연경개집(關東), 1984.10. pp.1021-1022.
9. 木下一也, 神田順, "사무실용 활하중의 보 및 바닥판용 동가분포하중," 일본건축학회대회 학술강연경개집(關東), 1984.10. pp.1023-1024.
10. Doshi, V.A. and Corotis, R.B. "Probability Models for Live Load Survey Results," ASCE, Vol.103, No.ST6, June, 1977, pp. 1257-1274.
11. Ellingwood, B.R. and Culver, C.G., "Analysis of LiveLoads in Office Buildings," ASCE, Vol.103, No. ST8, Aug., 1977, pp.1551-1560.
12. J.W.Barnes, "Statistical analysis for engineers" Prentice-Hall, 1988
13. Madsen, H.O. Krenk, S., and Lind.N.cC., Method of structural Safety, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1986
14. McGuire, R.K. and Cornell, C.A., "Live Load Effects in Office Buildings," ASCE, Vol.100, No.ST7, Proc. Paper 10660, July, 1974, pp. 1351-1366
15. Peir, J.C. and Cornell, C.A., "Spatial and Temporal Variability of Live Loads," ASCE, Vol.99, No. ST5, May, 1973, pp.903-922
16. Peir, J.C. "A stochastic live load model for buildings," Research Report R71-35, Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering Cambridge, Mass., Sept, 1971

(접수일자 : 2001년 6월 23일)