

1989년도 가을

한국전산구조공학회 학술발표회 논문집

평면뼈대구조의 신뢰성해석에 관한연구

A study on Reliability Analysis for Plane Frame Structure

이 중 빈* 신 형 우**
Lee, Cheung Bin Shin Hyung Woo

ABSTRACT

Recent trends in design standards development have encouraged the use of probabilistic limit state design concepts. Reliability analysis adopted in those advanced countries have the potentials that they afford for simplifying the design process and placing it on a consistent reliability based for various construction materials.

This study is proposed in the reliability analysis of plane frame structures using second-order moment method(Level- II theory). Lind-Hasofer's minimum distance method is use in the derivation of an mathematical algorithm, as well as an determination of Correlation coefficients, reliability index and total reliability index depending on the multiple failure modes. In addition, This study is employed as a practical tool for the approximate reliability analysis.

Results of the numerincal analysis showed that the difference between the reliability index of the failure probability of the multiple failure modes and the total reliability index of the failure probability with the simultaneous failure modes deviated nearly 3 ~ 10% depending on the performance functions.

I. 서 론

강뼈대 구조물의 설계분야에서 안전성, 경제성, 사용성, 미관등의 제반사항을 동시에 고려하는 구조물의 신뢰성 이론은 모든 공학자의 목표가 되어왔다. 지금까지는 구조물의 안전성 척도는 수세기를 거치는 동안에 얻어진 경험을 바탕으로 추정하여 안전율을 사용하였다. 이와같이 현행 재래식 설계에서는 구조물의 각 부재내에 발생하는 응력이 그 재료의 허용응력 이하가 되는지의 여부를 확인하여 안전을 확보하는 소위 허용응력 설계법이 사용되어 왔다.

이에 반하여 근래에는 큰 변형에도 견딜 수 있는 연성 및 응력경화와 같은 강재의 특징을 이용한 소성설계가 연구되고 있다. 이 설계 개념은 허용응력 설계에 비하여 보다 합리적이며 소성설계에 의하여 장대교를 설계할 경우 허용응력 설계에 의한 것보다 경제적인 설계가 가능한 것으로 알려지고 있다.

소성설계시에는 평형조건, 항복조건 및 기구조건을 만족시켜야 한다는 것은 기지의 사실이며, 이와 같은 3가지 조건을 만족시키기 위한 소성해석방법이 개발되었다.¹⁾ 지금까지의 연구결과들을 살펴보면 하한치

정리에 근거를 둔 평형조건과 항복조건을 만족하도록 한다음에 기구조건을 만족하도록 하는 정력학적 해석 방법과 평형조건과 기구조건을 만족하도록 한 다음 항복조건을 만족시키는 상한치 정리에 근거를 둔 소성기구 해석방법이 있다.

본 연구에서는 극한평형조건을 만족하는 소성기구 해석방법을 이용하여 신뢰성 이론을 도입하는데 주목적이 있다. 따라서 신뢰성 이론의 기본인 2차 모멘트법에 의하여 다수 파괴모드가 존재하는 경우의 신뢰성 해석과 상관계수의 관계식을 유도하고, 실용적이고 합리적인 신뢰성 해석 알고리즘을 개발하고 그 방법의 효율성과 특성을 검토하였다.

II. 다수파괴모드의 신뢰성해석

가. 2 차 모멘트법

Level-II 이론으로서 한계상태 방정식의 파괴기준의 설정에서부터 표준변수 및 기본변수 및 결과변수에 의한 기법등과 이에 따른 선형근사화의 방법에 따라 Cornell 의 MFOSM 또는 Lind-Hasofer 의 불변 2 차

*정회원, 순천공업전문대학 토목과, 공학박사

**조선대학교 대학원 토목공학과 석사과정

모멘트법인 최소거리법등 다양한 해석기법이 있다. 2), 3)

그림·1에서 본바와 같이 Lind-Hasofer 에 의하면 한 계상태방정식 $Z=R-S$ 는 저항 R 과 하중효과 S 의 기본변수들의 함수로 $Z=g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 으로 표현되며, 이들 기본변수가 상호독립변수가 아닌 경우에는 직교변환에 의해 상호독립변수로 나타낼 수 있다. 한 계상태방정식의 파괴역의 경계표면은 $Z=g(\cdot)=0$ 이고, $Z=g(\cdot)<0$ 은 파괴역이다. 이 기본변수를 표준좌표계 $\mu = x_i - x_i / \sigma_{x_i}$ 로 변환시키면 경계표면은 $g(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) = 0$ 가 된다.

일반적으로 파괴역이 비선형 경계면으로 되어 있는 경우 그림·1과 같이 표준좌표계의 원점으로부터 경계표면까지의 최단거리 OP^* 가 신뢰성 지수 β 가 된다. OP^* 점의 방향은 P^* 점에서 한계상태방정식의 단위 구배의 부(-) 방향이므로 각 좌표축에 대한 방향여현은

$$\alpha_i = \frac{-\left(\frac{\partial g}{\partial \mu_i}\right)^*}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial \mu_i}\right)^2}} \dots\dots\dots (1)$$

로 되고

$$\mu_i^* = \beta \cdot \alpha_i \dots\dots\dots (2)$$

$$g(\alpha_1 \beta, \alpha_2 \beta, \dots, \alpha_n \beta) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $\alpha = 1, 2, \dots, n$ 이다.

신뢰성지수 β 또는 설계변수는 식(1)~(3)의 반복 시행 알고리즘으로 구할 수 있다. 실제계산은 μ_i 표준변수 대신 다음과 같이 기본변수 x_i 에서 시행하는 것이 좋다. 즉

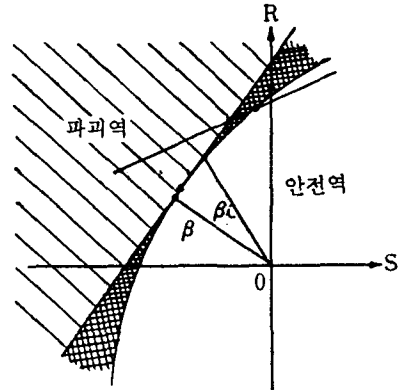
$$x_i^* = x_i + \mu_i^* \sigma_{x_i} = x_i + \alpha_i \beta \sigma_{x_i} \dots\dots\dots (4)$$

로 된다. 따라서 $\left(\frac{\partial g}{\partial \mu_i}\right)^* = \left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \sigma_{x_i}$ 이므로

각 좌표축에 대한 방향여현은 다음과 같이 된다.

$$\alpha_i = - \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \sigma_{x_i}}{\sqrt{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \sigma_{x_i}\right]^2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$g(x_1 + \alpha_1 \beta \sigma_{x_1}, x_2 + \alpha_2 \beta \sigma_{x_2}, \dots, x_n + \alpha_n \beta \sigma_{x_n}) = 0 \dots\dots\dots (6)$$



그림·1 Lind-Hasofer 의 β 해석

나. 상관계수의 해석

구조물의 파괴는 구조계 전체로 보면 유일한 것이 아니라 여러가지 형식으로 파괴할 가능성을 가지고 있다. 즉 부정정구조물이라면 다수의 붕괴기구, 파괴경로등의 유무, 파괴시의 좌굴현상등의 여러가지 현상에 대해 안전성을 고려하지 않으면 안된다.

이와 같이 다수의 파괴모드가 있을때의 신뢰성에 대한 많은 연구가 행하여 왔다. 그러나 이 대부분은 파괴확률을 사용한 것이며, 신뢰성지수(안전성지수)를 사용한 연구로서는 각 파괴모드에 상대적인 중요도를 고려하는 방법등이 있을 뿐이다. 그런데 각 파괴모드를 구성하는 저항과 하중효과등의 변수는 독립이라 하여도 파괴모드 사이에는 일반적으로 상관관계가 존재하게 된다.

여기서 말하는 파괴모드 사이의 상관(Correlation)은 2개의 파괴모드가 파괴형식(performance function)로 표시되었을때 통계적으로 종속성이 존재하는 것을 의미하고 있다. 이러한 파괴모드간의 종속의 정도를 상관이라 하고, 그 크기를 상관계수(Correlation Coefficient)로 규정하고 있다. 4)

일반적으로 2개의 파괴모드(failure mode) Z_p, Z_q 의 상관계수는 표준편차와 공분산의 함수로서 다음과 같이 된다.

$$\rho_{pq} = \frac{\sigma_{z_p z_q}}{\sigma_{z_p} \cdot \sigma_{z_q}} \dots\dots\dots (7)$$

단, $\sigma_{z_p}, \sigma_{z_q}$: z_p, z_q 에 대한 각각의 표준편차
 $\sigma_{z_p z_q}$; 공분산

따라서 Lind-Hasofer 의 최소거리법을 이용하여 그림·2와 같이 2개의 파괴모드 z_p, z_q 는 식(1)을 이용하여

Taylor 급수전개하면 공분산과 상관계수는 다음과 같이 된다.

$$\text{공분산: } \sigma_{z_p z_q} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial z_p}{\partial x'_k} \right)^* \left(\frac{\partial z_q}{\partial x'_k} \right)^* \dots (8)$$

$$\begin{aligned} \text{상관계수: } \rho_{pq} &= \frac{\sigma_{z_p z_q}}{\sigma_{z_p} \sigma_{z_q}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ik}^* a_{jk}^*}{\dots} \\ &= (a_{Rip})^* (a_{Riq})^* + (a_{Sip})^* (a_{Sjq})^* \dots (9) \end{aligned}$$

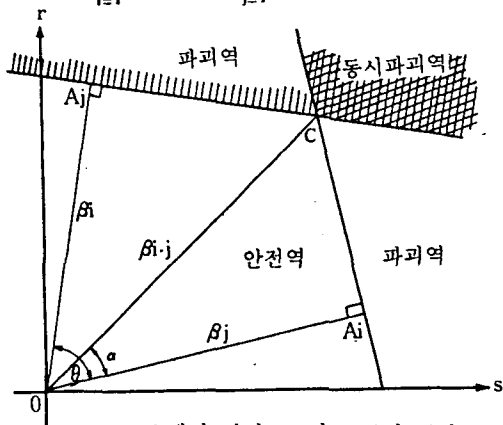
여기서 a_{Rip} , a_{Riq} , a_{Sip} , a_{Sjq} 는 방향여현으로 식(1), (5)을 이용하면 다음과 같이 된다.

$$a_{Rip} = \frac{\sum_{i=1}^m a_{ip} \sigma_{pi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ip} \sigma_{Ri})^2 + \sum_{j=1}^n (b_{jp} \sigma_{Sj})^2}} \dots (10.a)$$

$$a_{Sjp} = \frac{\sum_{j=1}^n b_{jp} \sigma_{Sj}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ip} \sigma_{Ri})^2 + \sum_{j=1}^n (b_{jp} \sigma_{Sj})^2}} \dots (10.b)$$

$$a_{Riq} = \frac{\sum_{i=1}^m a_{iq} \sigma_{Ri}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{iq} \sigma_{Ri})^2 + \sum_{j=1}^n (b_{jq} \sigma_{Sj})^2}} \dots (10.c)$$

$$a_{Sjq} = \frac{\sum_{j=1}^n b_{jq} \sigma_{Sj}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{iq} \sigma_{Ri})^2 + \sum_{j=1}^n (b_{jq} \sigma_{Sj})^2}} \dots (10.d)$$



그림·2. 2개의 파괴모드의 표준화 공간

다. 다수파괴모드의 신뢰성 해석

그림·2와 같이 2개의 파괴모드에 의한 파괴가 확률론적으로 동시에 생기는 영역을 동시파괴영역이라 하면, 이 동시파괴확률은 다음과 같이 된다.

$$Pf_{i,j} = Pr \{ (z_i < 0) \cap (z_j < 0) \} \dots (11)$$

단, $Pr \{ \cdot \}$: 확률

\cap : 적집합

그리고 교점 C가 동시파괴영역내에서 가장 원점에 가까운 경우에는 동시파괴사상에 대한 안전성을 평가하는데 유용한 정보를 준다.

본 연구에서는 동시파괴영역내에 표준변환좌표의 원점으로부터 최단거리의 점을 파괴점으로 규정하며 이 최단거리로 동시파괴사상에 대한 신뢰성 지수 β 를 해석할 수 있다. 이 파괴점과 원점과의 거리를 생각해 보면 2개의 파괴모드가 존재할 경우 그림·1과 같이 Lind-Hasofer의 신뢰성지수 β 의 해석을 확장한 것이다.⁵⁾

따라서 파괴점까지의 최단거리 $\overline{OC} = \beta_{i,j}$ 라 하면 이는 식(11)의 $Pf_{i,j}$ 에 대응하게 된다. 또한 전체의 파괴확률 Pf_{ij} 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} Pf_{ij} &= Pr \{ (z_i < 0) \cup (z_j < 0) \} \\ &= Pr \{ (z_i < 0) + Pr \{ (z_j < 0) + Pr \{ (z_i < 0) \cap (z_j < 0) \} \} \\ &= Pf_i + Pf_j - Pf_{i,j} \dots (12) \end{aligned}$$

단, \cup : 합집합

따라서 저항 R과 하중효과 S가 정규분포이면 신뢰성 지수 β 와 파괴확률 Pf와의 관계는 다음과 같이 성립된다.

$$Pf = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \dots (13)$$

이와 같이 다수파괴모드의 신뢰성해석은 추정평균과 분산(표준편차)에 의해서 해석하는 실용적이고 현대적인 Level-II 이론인 2차모멘트법을 이용하면, 다차원 공간에서 파괴면이 초평면일때 (그림·1 참조) 파괴조건식, 즉 안전마아진 Z는 다음과 같이 된다.

$$Z = \sum_{i=1}^m a_i R_i - \sum_{j=1}^n b_j S_j \dots (14)$$

단, a_i, b_j 은 정수이다.

그리고 R_i, S_j 에 대한 기본변수 r_i, s_j 를 사용하면

$$Z = \sum_{i=1}^m a_i \sigma_{R_i} r_i - \sum_{j=1}^n b_j \sigma_{S_j} s_j + \left(\sum_{i=1}^m a_i \bar{R}_i - \sum_{j=1}^n b_j \bar{S}_j \right)$$

로 된다. 이때 $(m+n)$ 차원공간의 초평면 $Z=0$ 에 대한 원점에서 수선의 최단거리를 신뢰성지수 β 라 정의되며 다수파괴모드의 신뢰성지수 β_T 은 (16)식과 같이 된다.

그리고 식(12), (13)을 이용하여 n개의 다수파괴모드가 존재하는 경우 전체의 신뢰성지수 β_T 는 (17)식과

같이 된다.

$$\beta_i = \frac{|\sum_{i=1}^n a_i \bar{R}_i - \sum_{j=1}^n b_j \bar{S}_j|}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 \sigma_{R_i}^2 + \sum_{j=1}^n b_j^2 \sigma_{S_j}^2}} \dots\dots\dots (16)$$

$$\beta_T = \Phi^{-1} \left[\sum_{i=1}^n \Phi(\beta_i) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n \Phi(\text{Max}(\beta_{i,j})) \right] \dots\dots\dots (17)$$

여기서 동시파괴에 대한 신뢰성지수 $\beta_{i,j}$ 를 파괴점까지의 거리로 하여 각 파괴모드에 대한 신뢰성지수 β_i, β_j 및 파괴모드간의 상호계수는 $\rho_{ij} (= \cos\theta)$ 을 사용하여 구할 수 있다.

그림 2에서와 같이 $\beta_i < \beta_j$ 이면 원점에서 교점까지의 거리 $\bar{\beta}_{i,j}$ 와 β_i, β_j 간의 관계는 다음과 같이 된다.

$$\bar{\beta}_{i,j} = \sqrt{\frac{\beta_i^2 + \beta_j^2 - 2\rho_{ij}\beta_i\beta_j}{1 - \rho_{ij}^2}} \dots\dots\dots (18)$$

또한 $\theta - \alpha \geq 0$ 즉 $\beta_{i,j} \leq \beta_i/\rho_{ij}$ 일때와 $\theta - \alpha < 0$, 즉 $\beta_{i,j} > \beta_i/\rho_{ij}$ 일때 $\beta_{i,j}$ 값이 변하게 되는데, 이때 $\beta_{i,j}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\beta_{i,j} = \begin{cases} \bar{\beta}_{i,j} (\beta_{i,j} \leq \beta_i/\rho_{ij}) \\ \beta_j (\bar{\beta}_{i,j} > \beta_i/\rho_{ij}) \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

따라서 Lind -Hasofer 의 최소거리법을 이용한 다수 파괴모드의 신뢰성 해석에 대한 알고리즘은 다음과 같이 된다.

단계 I : $\bar{R}_i, \bar{S}_j, \sigma_{R_i}, \sigma_{S_j}$ 가 주어지면 파괴모드의 방향여현 $\alpha_{R_i}, \alpha_{S_j}$ 의 계산(식(10) 이용)

단계 II : 상관계수 ρ_{ij} 의 계산(식(9) 이용)

단계 III : 각 파괴모드의 신뢰성지수 β_i 계산(식(16) 이용)

단계 IV : 전체의 신뢰성지수 β_T 계산(식(17) 이용)

III. 적용에 및 결과분석

가. 적용에

소성힌지가 발생하는 붕괴기구(보·층·절점기구)의 파괴모드사이에 대단히 많은 상관이 존재하게 된다. 따라서 적용에는 그림 3 과 같이 1층 1문형과 2층 2문형 강뼈대 구조물을 적용하도록 한다.⁶⁾⁷⁾

그림 3과 같이 보기구의 전소성모멘트 M_B 와 층기구의 소성모멘트 M_C 및 하중간의 종속성과 독립성을 가정한 것으로 2변수일때는 M_B, M_C 및 V, H 가 완전종속이고, 3변수일때는 M_B, M_C 는 독립이고 하중이 종속인 경우이며, 4변수일때는 M_B, M_C, V, H 가 각각 독립이며, 9변수일때는 $M_{B1}, M_{B2}, M_{B3}, M_{C1}, M_{C2}, V_1, V_2, V_3, V_H$ 을 독립관계로 각 변수에 따라 파괴형식 (

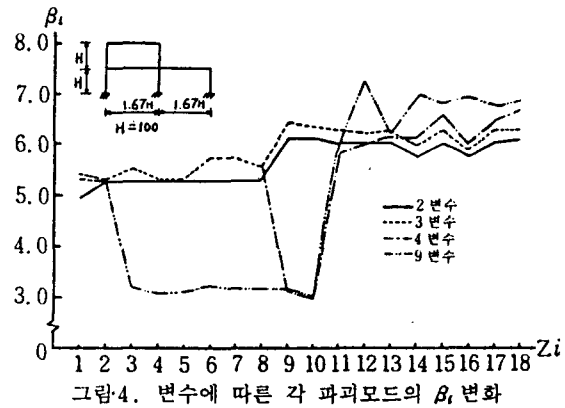


그림 4. 변수에 따른 각 파괴모드의 β_i 변화

Performance function)을 소성기구 해석법에 의해 해석한다.

그림 3에서 계산되는 구조저항(R_i) 및 하중효과(S_j)에 대한 불확실량은 정규분포로서 1층 2문형의 평균 및 변동계수는 각각 $\bar{M}_B = \bar{M}_C = 40, \Omega_{M_B} = \Omega_{M_C} = 0.1, \bar{V} = 1.0, \Omega_V = 0.2, \bar{H} = 0.5, \Omega_H = 0.2$ 이며, 2층 2문형의 평균 및 변동계수는 각각 $\bar{M}_{B1} = 150, \bar{M}_{B2} = 90, \bar{M}_{B3} = 120, \bar{M}_{C1} = \bar{M}_{C2} = 70, \bar{V}_1 = 38, \bar{V}_2 = 20, \bar{V}_3 = 26, \bar{V}_H = 7.0, \Omega_{M_{B1}} = \Omega_{M_{B2}} = \Omega_{M_{B3}} = \Omega_{M_{C1}} = \Omega_{M_{C2}} = 0.15, \Omega_{V_1} = \Omega_{V_2} = \Omega_{V_3} = \Omega_{V_H} = 0.25$ 로 한다.

나. 결과분석

전술한 적용에의 계산결과를 분석하면 표 1, 2은 L/H에 따라 1층 1문형과 2층 2문형의 신뢰성지수(β_i) 및 전체신뢰성지수(β_T)의 값이다. 표 1의 β_i 는 L/H가 증가함에 따라 감소하는데 반하여 전체 신뢰성지수(β_T)는 L/H가 증가함에 따라 같이 커진다. 이는 2, 3, 4변

L/H	M/H	1	2	3	4	5	6	7	8	β_T
0.5	2	8.0534	8.0534	8.0534	5.8300	5.8300	5.8300	5.8300	5.8300	1.2546
	3	8.0534	10.9141	9.9254	7.2849	7.2849	6.8219	7.0678	7.0678	3.2326
	4	8.0534	10.9141	9.9254	7.2849	7.2849	6.8219	7.8218	7.8218	3.2317
1.0	2	5.8300	5.8300	5.8300	5.8300	5.8300	5.8300	4.4613	4.4613	1.6578
	3	5.8300	7.2849	6.8219	5.8300	7.2849	6.8219	5.2150	5.2175	3.1874
	4	5.8300	7.2849	6.8219	7.2849	7.2849	6.8219	6.1394	6.1394	3.2173
1.5	2	3.8757	3.8757	3.8757	5.8300	5.8300	5.8300	3.3184	3.3184	3.2139
	3	3.8757	4.5241	4.3320	5.8300	7.2849	6.8219	3.7409	3.7409	3.6277
	4	3.8757	4.5241	4.5241	7.2849	7.2849	6.8219	4.5281	4.5281	3.6208

표 1. L/H에 따른 β_i 및 β_T

수의 종속성과 독립성에 따라 상관계수(ρ_{ij})가 작아지고 다수파괴모드의 보기구 ($Z_i = 1 \sim 3$), 절점기구 ($Z_i = 7 \sim 8$)의 ρ_{ij} 가 증가하고 층기구 ($Z_i = 4 \sim 6$)의 ρ_{ij} 가 감소하기 때문이다.

표 2에 의해 각 파괴모드(Z_i)를 2, 3, 4, 9변수에 따라 β_i, β_T 를 산정하여 나타낸 것이 그림 4이다. 그림 4

에서 2, 3변수일때 β_i 는 보기구 < 충기구 < 절점기구로

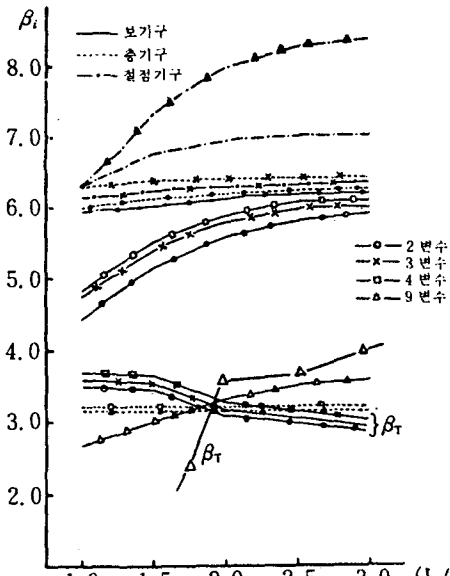


그림 6. L/H에 따른 각 파괴모드의 β_i, β_T 변화

L/H	1.67										1.67								β_T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
1.67	2	4.9544	5.3119	5.3119	5.3119	5.3119	5.3119	5.3119	5.3119	5.3119	6.1213	2	6.0435	6.0233	6.0233	5.7291	6.0386	5.7291	6.0386	6.0349	3.6080
	3	5.3682	5.3119	5.5176	5.3119	5.3119	5.7112	5.5176	6.4167	6.4167	6.3707	3	6.2954	6.2250	6.2631	5.9713	6.2554	5.8529	6.2033	6.2033	3.6129
	4	5.3682	5.3119	5.5176	5.3119	5.3119	5.7112	5.5176	5.5176	3.1772	3.0257	4	5.8152	6.0356	6.1613	6.1685	5.9555	5.9706	6.4005	6.6346	3.6168
	9	5.3707	5.3119	3.1914	3.0686	3.1118	3.2227	3.1686	3.1686	3.1772	3.0676	9	5.8294	7.2857	6.1680	7.0017	6.8026	6.9309	6.7555	7.5845	3.6329

표 2. 각 변수에 따른 β_i 와 β_T

굴곡이 없이 커지는데 반하여 4, 9변수일때 보기구 ($Z_i=1\sim 8$)의 $\beta_i=3.09\sim 3.22$, 충기구 ($Z_i=9\sim 12$)의 $\beta_i=3.09\sim 7.29$ 로 급 변화하고, 절점기구 ($Z_i=13\sim 18$)의 $\beta_i=6.19\sim 7.58$ 로 2, 3, 4변수의 β_i 값보다 커진다. 이는 각 파괴모드의 변수가 9변수와 같이 변수 사이에 독립적이고 평균치와 변동계수가 커짐에 따라 β_i 값이 민감하게 변화됨을 알 수 있다.

이때 전체신뢰성지수 (β_T)는 상관계수의 함수로서 표 1과 같이 1층 1문형 구조에 대한 3, 4변수의 β_T 는 L/H에 따라 $\beta_T=3.23\sim 3.62$ 로 변하고 2층 2문형 구조에 대한 $\beta_T=3.61\sim 3.63$ 정도 값이 되는데 이 β_T 는 통상구조물 설계시 극한 한계상태의 허용범위로서 $\beta_0=3.09\sim 5.199$ ($P_f=10^{-3}\sim 10^{-7}$) 사이에 있음을 알 수 있다.⁸⁾ 그리고 9변수로 2층 2문형 구조에 대해 평균치 ($\bar{M}_B, \bar{M}_C, \bar{M}_D, \bar{M}_E, \bar{M}_F, \bar{M}_G, \bar{M}_H, \bar{M}_I, \bar{M}_J, \bar{M}_K, \bar{M}_L, \bar{M}_M, \bar{M}_N, \bar{M}_O, \bar{M}_P, \bar{M}_Q, \bar{M}_R, \bar{M}_S, \bar{M}_T, \bar{M}_U, \bar{M}_V, \bar{M}_W, \bar{M}_X, \bar{M}_Y, \bar{M}_Z, \bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3, \bar{M}_4, \bar{M}_5, \bar{M}_6, \bar{M}_7, \bar{M}_8, \bar{M}_9, \bar{M}_{10}, \bar{M}_{11}, \bar{M}_{12}, \bar{M}_{13}, \bar{M}_{14}, \bar{M}_{15}, \bar{M}_{16}, \bar{M}_{17}, \bar{M}_{18}$)와 변동계수 ($\bar{\Omega}_M, \bar{\Omega}_V, \bar{\Omega}_W, \bar{\Omega}_X, \bar{\Omega}_Y, \bar{\Omega}_Z, \bar{\Omega}_1, \bar{\Omega}_2, \bar{\Omega}_3, \bar{\Omega}_4, \bar{\Omega}_5, \bar{\Omega}_6, \bar{\Omega}_7, \bar{\Omega}_8, \bar{\Omega}_9, \bar{\Omega}_{10}, \bar{\Omega}_{11}, \bar{\Omega}_{12}, \bar{\Omega}_{13}, \bar{\Omega}_{14}, \bar{\Omega}_{15}, \bar{\Omega}_{16}, \bar{\Omega}_{17}, \bar{\Omega}_{18}$)로 산정한 $\beta_T=4.1989$ 로 되는데, 이는 평

균치와 변동계수가 낮아짐에 따라 β_i 와 β_T 가 증가하게 된다. 따라서 신뢰성해석을 함에 있어서 정확한 구조 저항 및 하중효과의 통계치 추정이 중요하다.

또한 1층 1문형 구조의 β_T 는 각 파괴모드에서 가장 적은 값 $\beta_i=3.876, \beta_j=3.741$ 의 값에 비하여 약 3% 정도 적게 된다. 그리고 2층 2문형 구조의 β_T 는 각 파괴모드에서 가장 적은 값보다 $\beta_i=\beta_j=3.08$ 에 비하여 약 15% 정도 크게 된다. 이는 다수 파괴모드의 전체신뢰성지수 (β_T)가 상관계수 (ρ_{ij})의 독립성 ($\rho_{ij}=0$)과 종속성 ($\rho_{ij}=1$)에 따라 좌우됨을 알 수 있다.

표 3 및 그림 4, 5에서 전소성모멘트 ($M_{B1}=M_{C1}$)와 하중효과를 부분 종속으로 본 2, 3, 4변수의 파괴모드 Z_i의 신뢰성지수 $\beta_i=5.3119$ 이고 전소성모멘트와 하중효과를 완전독립으로 본 9변수의 $\beta_i=3.0886$ 으로 이 때 9변수의 파괴모드 Z_i가 가장 위험한 파괴모드가 된다. 즉 그림 1과 같이 표준화 공간의 원점에서 최단 거리에 있는점이 신뢰성지수 (β_i)가 됨을 알 수 있다.

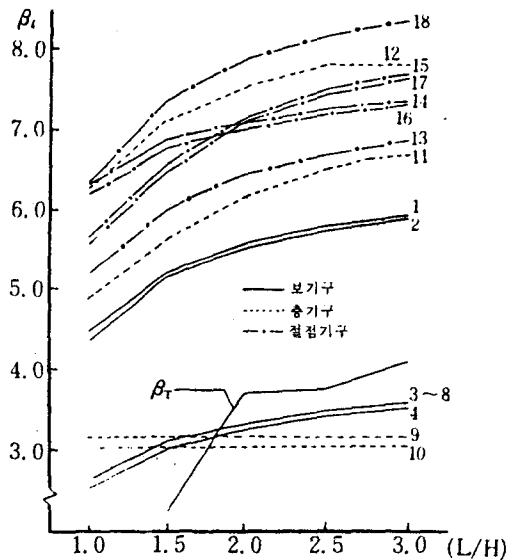


그림 5. L/H에 따른 기구별의 β_i, β_T 변화

그리고 L/H에 따라 다수 파괴모드의 β_i 및 β_T 를 산정하여 기구별로 나타내면 그림 6과 같이 된다. 그림 6에서 파괴모드를 9변수(완전독립)일때 보기구 ($\beta_i=2.4634\sim 3.4982$), 충기구 ($\beta_i=3.0876$)으로 가장 위험한 파괴모드가 되는데 반하여 절점기구 ($\beta_i=6.3280\sim 8.3798$)로 L/H에 따라 급변하고 있다. 이는 정규분포형 신뢰성해석에서 하중효과의 평균치와 변동계수에 따라 민감함을 나타내는 것이다. 또한 다수 파괴모드가 존재하는 경우 전체 신뢰성지수 (β_T)는 $\beta_T=3.1875\sim 3.6490$ (2변수), $\beta_T=3.1889\sim 3.6508$ (3변수), $\beta_T=3.2440\sim 3.6421$ (4변수), $\beta_T=2.2025\sim 4.0716$ (9변수)로 L/H에 따라 변화하게 된다. 이때 9변수의 파괴모드 Z_i의

