

現行 鐵筋콘크리트 極限強 設計法の 信賴性에 關한 研究

李 奉 鶴*

A Study on Reliability of Current Ultimate Strength Design for Reinforced Concrete

Lee, Bong Hak

Abstracts

Reliability analysis methods have been employed in this study to determine the safety index β for flexure associated with reinforced concrete designs that are in accordance with current USD code of Korea.

In reliability analysis, the mean first-order second-moment methods are employed.

The following specific conclusions can be drawn from this study;

1) Levels of safety for reinforced concrete design, measured by β , vary from 2.8 to 3.8 in flexure depending on the limit state, the ratio of live load to dead load and the uncertainties.

2) Target reliability β associated with reinforced concrete beams in flexure is assumed to be 3.5~4.0 in Korea.

3) Load factors and resistance factors in flexure associated with the current provisions contained in USD code generally seem to be too high. The writer concluded the factors as following;

$$\phi=0.8, \gamma_D=1.1, \gamma_L=1.75$$

1. 序 論

종래의 構造設計는 經驗에 의한 安全率의 도입으로서 材料가 서로 다르나든가 또는 荷重이

틀릴 때에는 一定한 水準의 安全率으로써 構造部材를 設計할 수가 없었다. 이에 대처하여 最近 先進 外國에서는 確率論的 限界狀態 設計法을 開發하여 設計示方書에 도입하였거나 또는 활발한 研究中에 있어 아마도 80年代의 設計示方

* 江原大學校 工科大学 土木工學科 專任講師

書의 原型이 될 것으로 안다¹⁾. 즉, 구라과 中心의 限界狀態 設計法(Limit State Design, LSD), 미국을 中心으로한 荷重-抵抗係數 設計法(Load and Resistance Factor Design, LRFD) 등이 이미 示方書에 도입되었거나 또는 곧 도입 될 단계에 이르러 있다^{2,3,4,5)}.

중전의 彈性設計法의 短點에 대처하여 發展한 限界狀態 設計法은 構造材料의 最大 耐力를 基準으로 하여 考案하였는데 構造部材가 그 機能을 발휘할 수 없게 되거나 또는 특별한 상태를 限界狀態(Limit State)라고 하며 이 限界狀態는 極限限界狀態(Ultimate Limit States)와 使用限界狀態(Serviceability Limit States)로 나누어 생각할 수 있는데 極限 限界狀態는 構造物 또는 部材의 最大 耐荷力을 나타내는 限界狀態로서 壓入不安定, 局部不安定 등이 이에 속하고 使用限界狀態는 正常的인 使用狀態에서 그 機能을 발휘 할 수 없게된 상태로 과도한 처짐, 振動 또는 早期降伏, 균열 등의 狀態를 말한다⁶⁾. 결국 이러한 設計法의 目的은 위와같은 限界狀態로 되는 確率을 構造物의 모든 部材에 대하여 거의 一定한 값이 되도록 하여 적절한 安全度를 갖게 하는데 있다.

限界狀態 設計法 또는 LRFD는 모두가 確率論的 設計方法으로서 構造物의 設計變數에 사용되는 두가지 變量 즉, 材料強度와 荷重效果는 random 變數로서 不確實 要因을 確率理論으로서 처리하고 있다. 構造安全에 대한 信賴度 解析에 이러한 確率論的 接近方法을 사용하므로써 몇가지 유리한 점이 있다⁷⁾. 우선, 設計者에게 構造設計의 安全性과 使用性的의 면에 보다 많은 認識을 갖게 해 준다. 또한 서로 다른 構造部材에 똑같은 一定한 水準의 安全率을 나타내도록 할 수 있는 長點이 있다.

信賴性 理論에 관한 初期 研究는 Freudenthal^{7,8,9)}에 의하여 이루어 졌는데 그는 破壞 確率을 構造安全의 基準으로 삼는 古典的 方法(Level III 方法)을 考案, 研究하기 시작하여 Ang, Amin^{10,11)}, Moses¹²⁾ 등에 의하여 확장되었는데 이 方法은 媒介變數의 確率分布를 정확히 알아야 하는 등의 不便함 때문에 實際 構

造的 設計의 計算에 복잡함이 있다³⁾.

이에 반하여 Cornell¹³⁾, Lind-Hasofer¹⁴⁾, Ellingwood¹⁵⁾ 등에 의하여 발전된 平均 1階 2次 모멘트法(Level II 方法)이 있는데 構造物의 相對的 信賴性을 단지, 材料 또는 荷重效果의 平均과 分散에 의하여 解析하는 實用的 方法이다. 한편 이 Level II 理論¹⁶⁾은 現在 우리가 늘 사용하고 있는 設計式의 安全率 概念과 같은 半確率的 確定的 設計法의 形態인 Level I 設計法의 基準 開發에 應用되고 있는 實情이다^{3,4)}.

Level II 2次 모멘트法에 의한 設計는 많은 實驗統計 資料에 의한 正確한 平均値와 分散値가 필요로 되는데 最近 이에 관한 많은 文獻들이 나와 있다^{3,4,17,18)}. 이러한 資料情報을 利用하여 現存하는 規準에 Calibration 함으로써 目標 信賴性 指數를 얻을 수 있다. Galambos와 Ravindra는 미국 AISC 시방서에 의해 Calibration에 함으로써 鋼構造에 관한 信賴性 指數를 計算하였으며^{5,6,19,20,21,22,23)} 鐵筋콘크리트에 관한 信賴性 指數의 연구도 Ellingwood^{2,3,17,18)}, Ang¹⁵⁾ 등에 의하여 行하여 졌다.

本 研究는 Level II 2次 모멘트法에 의한 信賴性 解析에 의하여 現在 우리가 사용하고 있는 힘에 대한 極限強 設計法에 Calibration 하여 現행 設計法에 대한 安全水準을 알아보고 우리 現實에 적합한 目標 信賴性 指數를 定하여 그에 따른 荷重係數와 抵抗係數를 決定하여 分析考察하여 봄으로써 장차 일관성 있는 새로운 示方書 規準開發에 기여하고자 한다.

2. 信賴性 解析

2.1. Level III 方法(古典理論)¹⁶⁾

構造抵抗 R과 荷重效果 S가 어떤 確率 모델에서 確率密度함수 $f_R(r)$ 과 $f_S(s)$ 로 각각 기술된다면 構造物의 위험정도 測定은 破壞確率(Probability failure)로 表現할 수 있다²⁴⁾. 抵抗力 R이 荷重效果 S 보다 작은 確率, 즉, 破壞確率 P_f 는

$$\begin{aligned}
 P_f &= P\{R < S\} = \int_0^\infty \left[\int_0^s f_R(r) dr \right] f_S(s) ds \\
 &= \int_0^\infty F_R(s) f_S(s) ds \\
 \text{또는 } P_f &= \int_0^\infty f_R(r) [1 - F_S(r)] dr \quad \dots\dots\dots ①
 \end{aligned}$$

로 되고 여기서 $F_R(\quad)$ 은 R의 累積分布 함수이다. 한편 構造 信賴性 P_S 는

$$P_S = P\{R > S\} = 1 - P_f \quad \dots\dots\dots ②$$

가 된다. 弱석이 正規分布에 따르는 確率모델이라고 한다면

$$P_S = 1 - P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad \dots\dots\dots ③$$

$$\text{단, } Y = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

\bar{R}, \bar{S} ; 각각 저항과 荷重效果의 平均值

σ_R^2, σ_S^2 ; 각각 저항과 荷重效果의 分散

위의 ③式에 의하여 信賴度를 求할 수 있는데 現實적으로는 限定된 情報下에서 R과 S의 正確한 確率分布를 알기가 곤란하고 不確實 要因을 포함시킬 수가 없는 등의 不便 때문에 理論적으로는 타당하지만 實用的 모델이 되지 못하고 있다¹¹⁾.

2.2. Level II 方法(2次 모멘트法)

上記한 破壞確率 理論은 어떠한 確率分布에 따르느냐에 따라 確率分布의 끝 部分에서는 相當히 민감하다¹¹⁾. 그러나 信賴性 解析에서는 確率分布의 끝 部分이 상당한 意味를 가질 수 있기 때문에 上記한 理論은 어려움이 있다. 이러한 難點을 감안하여 Cornell에 의하여 考案된 것이 構造物의 信賴性을 變數의 推定平均과 分散에 의해서만 解析하는 1階 2次 모멘트法이다¹³⁾. 이 方法은 標識이 간단함과 동시에 實用的이기 때문에 상당히 좋은 方法으로 대두되고 있다. 本研究에서는 Cornell의 MFOSM(Mean First Order-Second Moment Method)과 Lind-Hasofer¹⁶⁾의 不變 2次 모멘트法인 最少거리法을 Ellingwood^{2, 17)} 등이 R.C. 構造物의 信賴性 基準 開發에 적용한 抵抗變數의 對數變換모델을 토대로 考察하고자 한다.

$\ln(R/S)$ 의 確率分布가 주어졌다고 할 때 破

壞確率은

$$P_f = P\{\ln(R/S) < 0\} \quad \dots\dots\dots ④$$

平均은 0이고 分散이 1인 標準化 變數 U, 즉,

$$U = \frac{\ln\left(\frac{R}{S}\right) - [\ln\left(\frac{R}{S}\right)]_m}{\sigma_{\ln(R/S)}} \quad \dots\dots\dots ⑤$$

를 도입하면

$$\begin{aligned}
 P_f &= P\{\ln\left(\frac{R}{S}\right) < 0\} = P\left\{U < -\frac{[\ln\left(\frac{R}{S}\right)]_m}{\sigma_{\ln(R/S)}}\right\} \\
 &= F_u\left[-\frac{[\ln\left(\frac{R}{S}\right)]_m}{\sigma_{\ln(R/S)}}\right] \quad \dots\dots\dots ⑥
 \end{aligned}$$

여기서 $[\ln(R/S)]_m, \sigma_{\ln(R/S)}$; 각각 $\ln(R/S)$ 의 平均과 標準偏差

F_u ; 標準化 變數 U의 累積分布함수.

위 式에서 $[\ln(R/S)]_m / \sigma_{\ln(R/S)}$ 는 要素의 信賴度를 뜻하는데 이를 信賴性 指數(Reliability Index) 또는 安全性 指數(Safety Index) β 라 한다. 즉,

$$\beta = \frac{[\ln\left(\frac{R}{S}\right)]_m}{\sigma_{\ln(R/S)}} = \frac{\ln\left[\frac{\bar{R}}{\bar{S}} \sqrt{\frac{1+V_S^2}{1+V_R^2}}\right]}{\sqrt{\ln(1+V_S^2)(1+V_R^2)}} \quad \dots\dots\dots ⑦$$

여기서 V_R, V_S 는 각각 R과 S의 變動係數인데 平均치에 대한 표준편차의 比를 뜻한다. ⑦式은 V_R, V_S 가 0.3 보다 작을 때는 대략적으로 다음과 같이 간략히 표현될 수 있다²¹⁾.

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{\bar{R}}{\bar{S}}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_S^2}} \quad \dots\dots\dots ⑧$$

Fig.1은 β 를 정의한 것이고 Table 1은 β 와 破壞確率 P_f 의 關係를 나타낸 것이다.

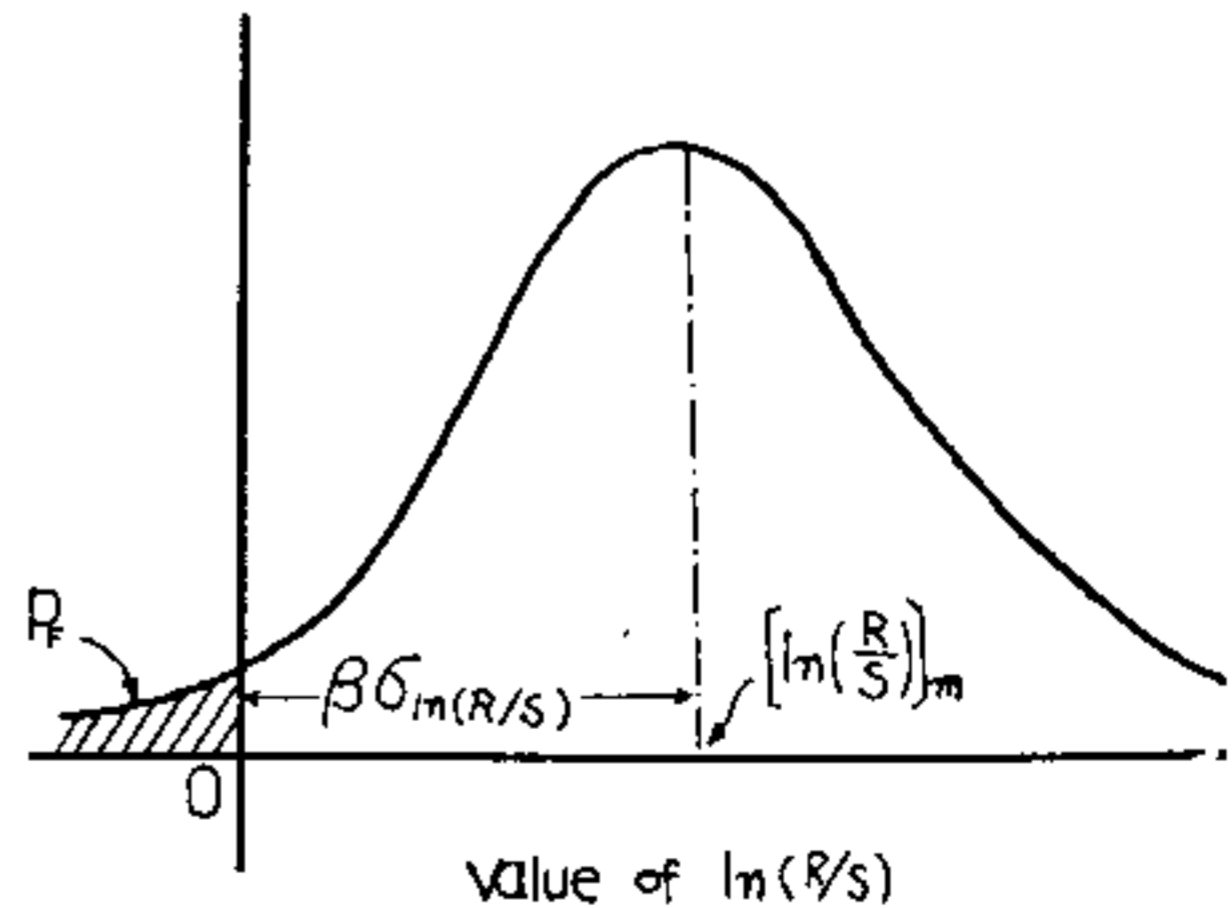


Fig.1. Definition of Safety Index

Table 1. Failure Probability and Safety Index

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
β	1.28	2.32	3.09	3.72	4.27	4.75	5.20	5.61	6.00	6.36

中央安全率 θ 는 ⑦式으로부터

$$\theta = \frac{\bar{R}}{\bar{S}} = \frac{\sqrt{1+V_R^2} \exp(\beta \sqrt{\ln(1+V_R^2)(1+V_S^2)})}{\sqrt{1+V_S^2} \exp(\beta \sqrt{V_R^2+V_S^2})} \dots\dots\dots ⑧$$

가 됨을 알 수 있다.

2次 모델트 信頼性 解析에 관한 많은 文献들이 최근에 나왔는데^{1),5),21)} 여기서는 Ellingwood^{2),17)}에 의한 方法을 따르기도 한다.

우선 限界狀態 方程式을 다음과 같이 表現한다.

$$g(R_1, R_2, \dots, S_1, S_2, \dots) = 0 \dots\dots\dots ⑩$$

여기서 R_i 와 S_i 는 각각 各개의 저항과 荷重項을 나타내며 $g < 0$ 일때 파괴가 일어난다. 이들 基本 抵抗 및 荷重變數를 平均은 0, 分散은 1을 갖는 縮小變數로 轉換될 수 있다. 즉,

$$\left. \begin{aligned} r_i &= \frac{\ln R_i - \ln \bar{R}_i}{\sigma_{\ln R_i}} \\ s_i &= \frac{S_i - \bar{S}_i}{\sigma_{S_i}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑪$$

여기서 \bar{S}_i, σ_{S_i} 는 각각 S_i 에 대한 平均과 標準 偏差이며 $\ln R_i$ 에 대해서도 마찬가지이다. 그러므로 ⑩式은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$g_1(r_1, r_2, \dots, s_1, s_2, \dots) = 0 \dots\dots\dots ⑫$$

荷重項 만을 對數變換 한 것은 R_i 의 (-)값이 생길 경우의 理論的 어려움을 피하기 위해서 바람직한 式이다²⁾. 設計目的을 위하여 式⑫로 정의되는 座標面에

$$\left. \begin{aligned} r_i^* &= -\alpha_{R_i} \beta \\ s_i^* &= \alpha_{S_i} \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑬$$

와 같은 點을 생각할 수 있다($r_1^*, r_2^*, \dots, s_1^*, s_2^*, \dots$)는 縮小變數 座標系에서 原點으로부터 가장 가까운 點을 뜻 하는데 이 기리가 安全指數 β (또는 信頼性 指數)가 된다²⁾. α_{R_i} 및 α_{S_i} 는 β 를 측정하는 방향에 대한 測定方向 單位 Vector이다.

$$\alpha_{x_i} = \frac{\frac{\partial g_1}{\partial x_i}}{\sqrt{(\sum (\frac{\partial g_1}{\partial x_i})^2)}} ; x_i = r_i, s_i \dots\dots\dots ⑭$$

여기서 편미분 項은 ($r_1^*, r_2^*, \dots, s_1^*, s_2^*, \dots$)에서 算定된다. Code Calibration과 設計問題는 β 를 最小化하는 α_i 를 찾기 위해 式⑫~⑭를 가지고 反復試行 절차를 밟아야 한다. 信頼度 解析을 그림으로 나타낸 것이 Fig. 2이다.

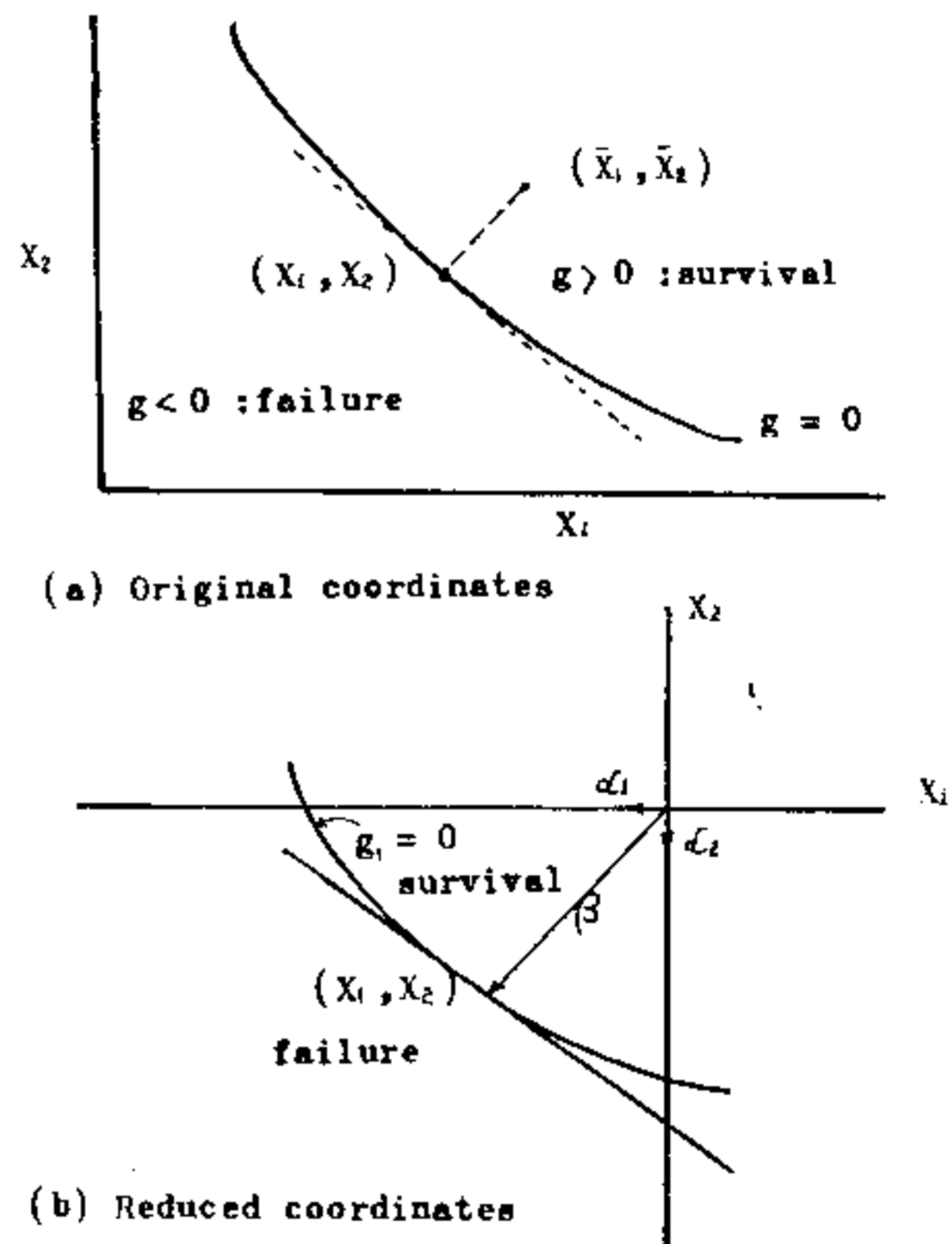


Fig. 2. Safety Analysis in Original and Reduced Variable Coordinates

실제 計算은 基本變數가 定義된 基本座標系에서 行하는 것이 便利한데,

$$\left. \begin{aligned} R_i^* &= \bar{R}_i \exp(-\alpha_{R_i} \beta V_{R_i}) \\ S_i^* &= \bar{S}_i (1 + \alpha_{S_i} \beta V_{S_i}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑮$$

이때 V_{R_i}, V_{S_i} 는 각각 R_i, S_i 의 變動係數(COV)이며 設計條件式은

$$g(r_1^*, r_2^*, \dots, s_1^*, s_2^*, \dots) \dots\dots\dots ⑯$$

이다. 또한 α_i 는

$$\alpha_k = \frac{a_k}{\sqrt{\sum a_k^2}}$$

$$\left. \begin{aligned} a_{Ri} &= \sigma_{Ri} \exp(-\alpha_{Ri} \beta V_{Ri}) \left(\frac{\partial g}{\partial R_i} \right)_* \\ a_{Si} &= -\sigma_{Si} \left(\frac{\partial g}{\partial S_i} \right)_* \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑩$$

⑩~⑫式을 反復試行法으로 풀어 α 와 β 를 定한 후 ⑩式에 代入하면 抵抗係數 및 荷重係數를 求할 수 있게 된다. 즉, 限界狀態 方程式은

$$\phi \bar{R} = \gamma_D \bar{S}_D + \gamma_L \bar{S}_L \dots\dots\dots ⑬$$

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \exp(-\alpha_R \beta V_R) \\ \gamma_D &= 1 + \alpha_D \beta V_{SD} \\ \gamma_L &= 1 + \alpha_L \beta V_{SL} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑭$$

⑬式에서 분명하듯이 2次 모멘트法에 의한 信賴度 解析은 信賴性 指數 β 는 물론이고 設計 變數의 平均과 變動係數에 의존함을 알 수 있다.

2.3. 不確實量의 解析

一般的으로 構造物 設計에는 많은 不確實 要因이 內在하고 있다. 大別하여 材料強度에 생기는 不確實 要因과 荷重效果에 생기는 不確實 要因이 있는데 이들 不確實 要因을 正確히 알아 내기란 거의 不可能하지만 이제까지의 經驗과 그리고 많은 實驗·統計資料들로부터 그 값을 推定해 내지 않으면 안된다.

R과 S의 不確實量을 각각 X_i 와 Y_i 에 不確實 함수로서 나타내면 Taylor 級數 展開를 통하여 R과 S의 1階 平均値로 나타낼 수 있다²⁴⁾.

$$\left. \begin{aligned} \bar{R} &= f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \\ \bar{S} &= g(\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑮$$

이들 變動係數는

$$\left. \begin{aligned} V_R^2 &= \frac{\sigma_R^2}{\bar{R}^2} = \frac{1}{\bar{R}^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_0^2 \sigma_{X_i}^2 \\ V_S^2 &= \frac{1}{\bar{S}^2} \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial Y_j} \right)_0^2 \sigma_{Y_j}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑯$$

여기서 $\sigma_{X_i} = V_{X_i} \bar{X}_i$, $\sigma_{Y_j} = V_{Y_j} \bar{Y}_j$, $\left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_0$ 및 $\left(\frac{\partial f}{\partial Y_j} \right)_0$ 는 平均값에서 計算된 편미분 値이다.

X_i , X_j 가 독립變수이면

$$V_R^2 = \frac{1}{\bar{R}^2} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_0^2 \sigma_{X_i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_0 \left(\frac{\partial f}{\partial X_j} \right)_0 \rho_{ij} \sigma_{X_i} \sigma_{X_j} \right] \dots\dots\dots ⑰$$

여기서 ρ_{ij} 는 相關係數이며 V_i 에 관하여도 마찬가지로 표현할 수 있다.

一般的으로 確率變數 X에 대한 총 不確實量은 다음 式으로 求한다^{11, 15)}.

$$V_X = \sqrt{\Delta x^2 + \delta x^2} \dots\dots\dots ⑱$$

여기서 Δx ; X의 예측 불확실량이고 δx ; X의 기본 불확실량이다. δx 는 그 자체에 本質적으로 주어진 不確實量이므로 試料크기에 無關하지만, 모델링이나 豫測에 기인한 不確實量 Δx 는 基本모델이 진보되든지 더 많은 資料가 有用하게 되면 줄어들게 된다.

鐵筋콘크리트 部材 設計時에 쓰이는 抵抗力과 荷重에 關한 不確實量의 算定은 최근 미국 標準局(NBS)에서 발표한 바 있는데 그를 要約하면 Table 2와 같다²⁾.

Table 2. Summary of Statistics for Resistance and Load

	Parameter(1)	Mean/nominal(2)	Coefficient of Variation (3)
(a) Resistance	Flexure	1.12	0.13—0.16
	Shear	1.14—1.20	0.20—0.23
	Compression, bending	0.97—1.13	0.14—0.18
(b) Load	Dead	1.0	0.10
	Max. live	Varies	0.27~0.26
	Instantaneous live	Varies	Varies
	Max. wind (60yr)	1.2	0.31
	Max. wind (8yr)	1.75	0.35

公稱抵抗에 대한 平均抵抗值의 比도 나타냈는데 이 값은 Code Calibration에 필요하게 된다. 휨에서 V_R 의 變化는 部材두께가 늘어남에 따라 鐵筋位置의 變動에 따른 영향이다²⁾. 剪斷抵抗의 變動係數는 腹鐵筋量이 增加하면 減少하게 된다²⁾. 또한 軸壓縮 및 굽힘에서 V_R 은 鐵筋比가 작을수록 그리고 荷重偏심이 작을 때 더 커지는 경향이다²⁾.

3. 信賴性 解析 適用 및 考察

우리나라의 現行 鐵筋콘크리트 極限強示方書와 ACI 318-77 示方書의 휨에 대한 각각 $\phi=1.5D+1.8L$, $\phi=1.4D+1.7L$ 이란 狀態方程式의 信賴性 정도를 검토하기 위하여 7章에서 취급한 式들을 利用하여 Calibration한 結果, 휨에 대하여 Fig.3과 같음을 알 수 있었다.

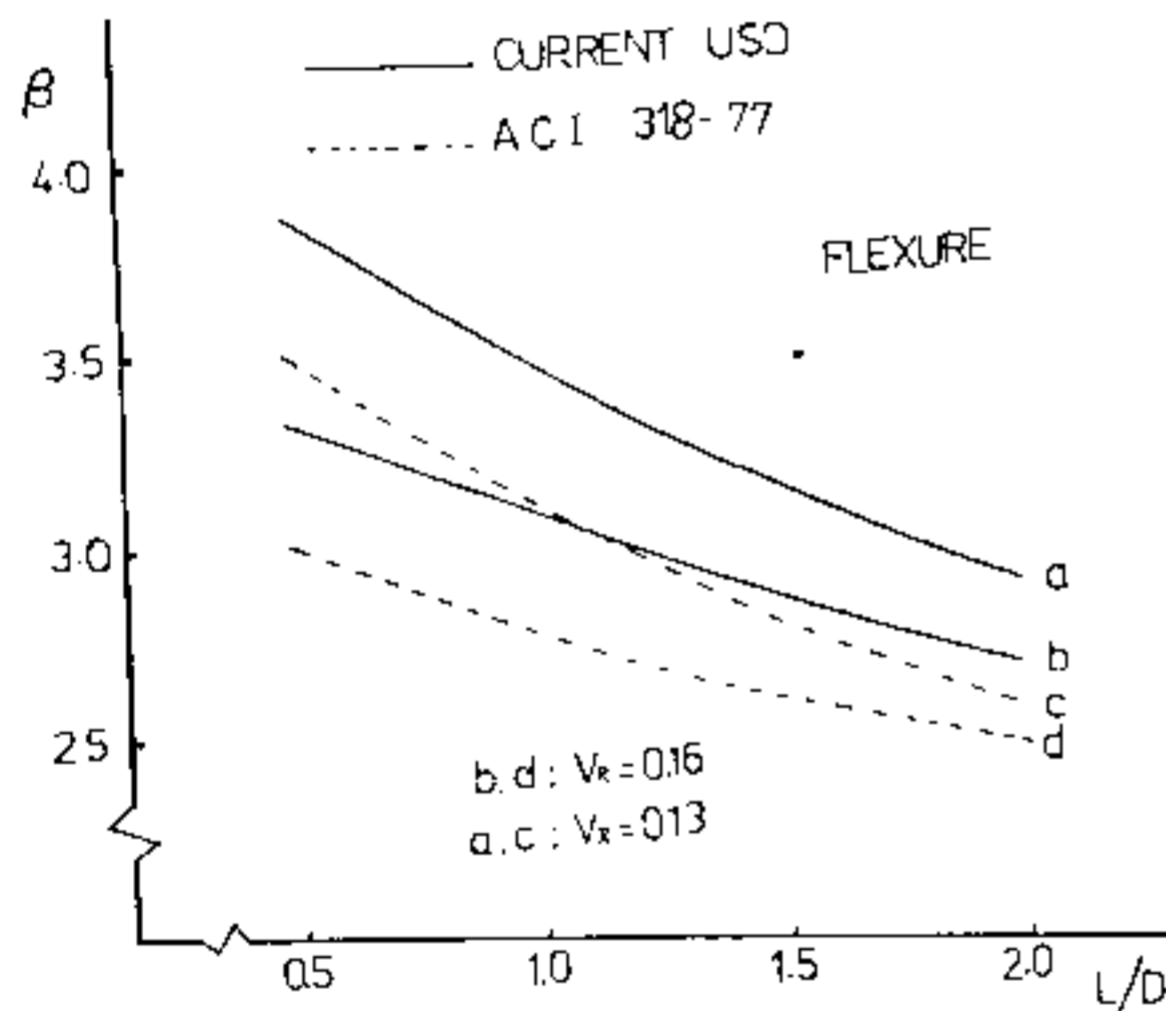


Fig. 3. Reliability Index for Flexure (U=D+L)

여기서 이용한 不確實量은 $V_R=0.13\sim 0.16$, $V_{SD}=0.1$, $V_{SL}=0.26$, $\bar{M}/M'=1.12$, $\bar{S}_L/S'_L=1.10$ 을 사용하였다.

이 그림을 보면 現行 極限強示方書의 信賴性 指數 β 는 대략 2.8~3.8 사이에 있고 ACI 318-77 示方書의 信賴性 指數는 2.5~3.5 사이에 있음을 알 수 있다. L/D의 비율이 커질수록 β 는 대략 0.7정도 작아지며 抵抗變動係

數 V_R 의 上下限值(0.16, 0.13)에 따라서는 0.2~0.3 정도의 β 值에 차이가 있음을 알 수 있다. Ellingwood는 鐵筋콘크리트 構造物의 휨에 대하여 β 를 3으로 할 것을 主張하고 있는데^{2), 17)} 우리는 材料強度 및 荷重等에 관한 不確實要因을 더 여유있게 고려할 때 目標信賴性 指數는 $\beta=3.5\sim 4.0$ 사이에서 취하면 좋을 것으로 사료된다.

Fig.4는 L/D 荷重比에 대한 變動係數 V_R 抵抗係數 ϕ , 그리고 公稱抵抗에 대한 平均抵

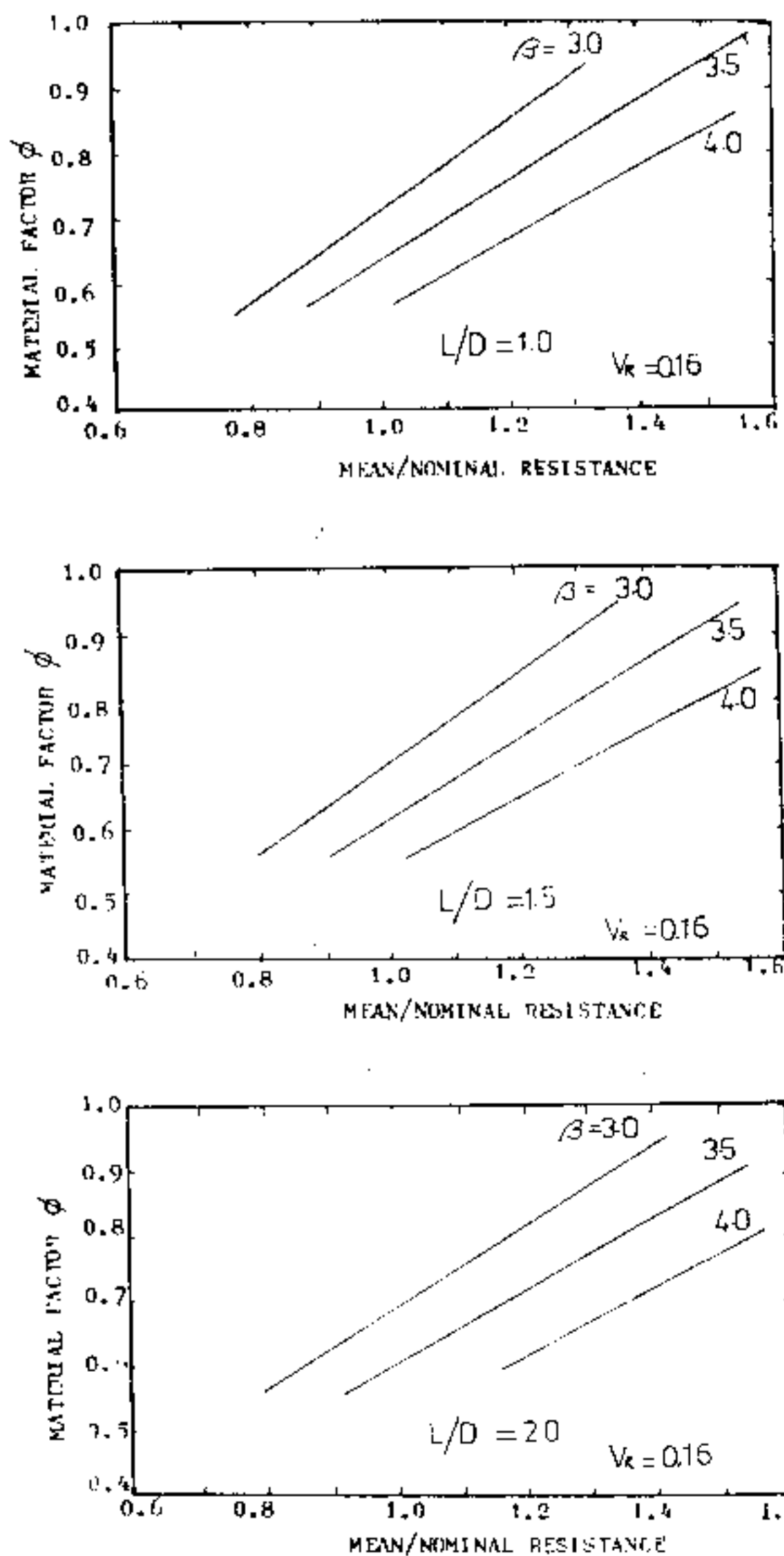


Fig. 4. Relation of ϕ to β , \bar{R}/R' , V_R and L/D

抗比 \bar{R}/R' 의 값을 β 值와 더불어 나타낸 것이다. $\bar{R}/R'=1.12$ 라고 할 때 $\beta=3.5\sim 4$ 정도에 해당하는 ϕ 值는 대략 0.7정도 임을 알 수 있다.

한편 L/D比에 따른 ϕ 와 γ 값을 $\beta=3$ 과 $\beta=4$ 에 대하여 나타낸 것이 Fig. 5이다.

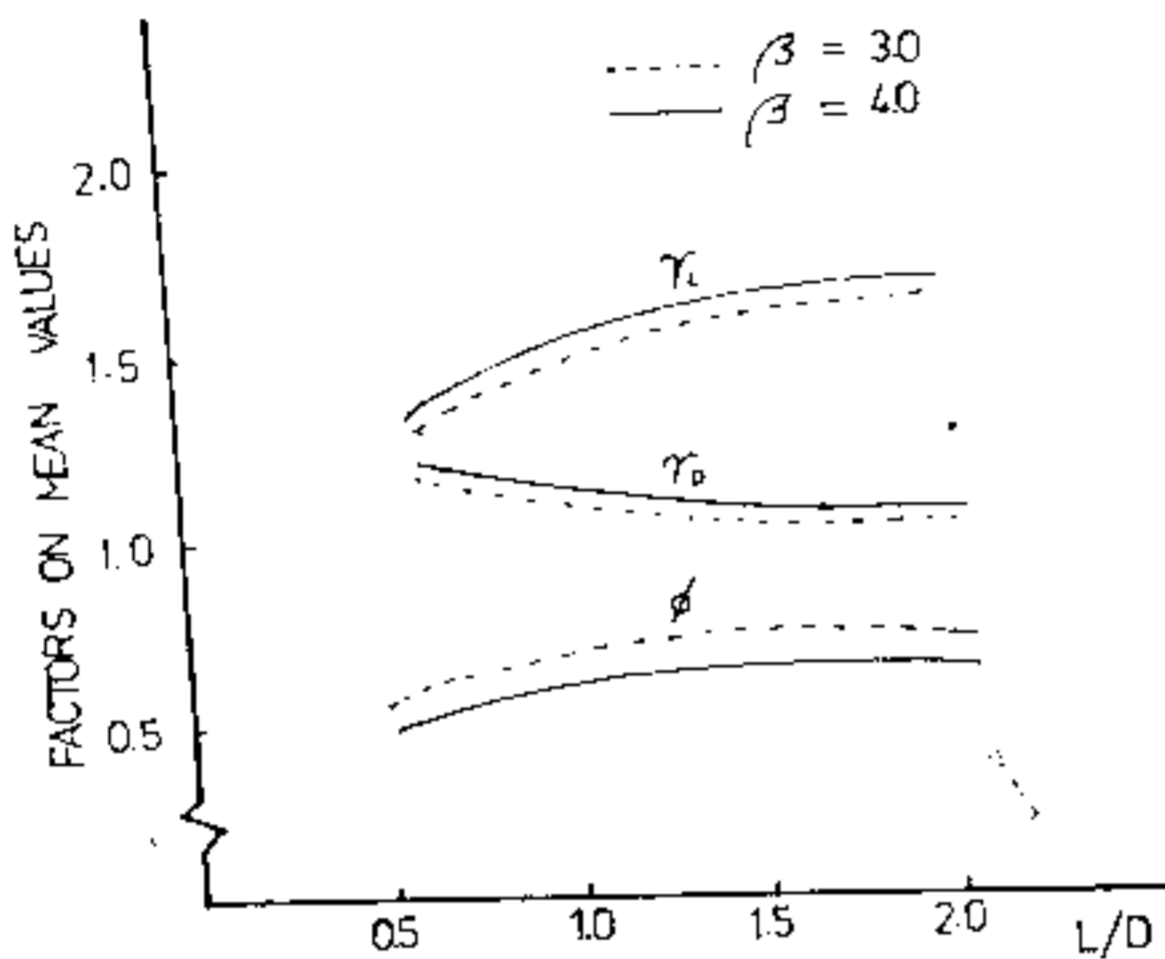


Fig. 5. Load and Resistance Factors for Flexure ($U=D+L$)

L/D의 크기에 따라 ϕ 值는 민감한 변화들 일으키지 않으나 死荷重 係數 γ_D 는 약 0.1 정도 減少하고 活荷重 係數 γ_L 은 0.2 이상의 증가를 보여준다. L/D의 증가에 따라 γ_L 이 상당히 민감한 것은 L/D이 증가할 때 活荷重 變動量이 全體 設計荷重에 큰 몫을 차지하기 때문이다. 이 그림에서 γ_D 는 1.1 內外를 나타내는데 이는 死荷重에 대한 變動量이 작기 때문이다. 活荷重에 대한 平均値와 公稱値의 비율이 1.0임을 감안하면 現在의 示方書 값은 상당히 過大하게 취하였음을 알 수 있다. 또한 抵抗係數 ϕ 값도 現在의 示方書 값이 너무 크게 定하여져 있음을 알 수 있다.

上記한 結果를 分析, 考察하여 보면

1) Ellingwood 등이 발표한 荷重 및 抵抗에 대한 統計値를 利用하여 그中 最大値 程度의 不確實量을 가지고 現在의 極限強 示方書를 Calibration 할 때 β 는 2.8~3.8 사이의 값을 갖고 있음을 알 수 있는데 우리 現實을 감안할 때 目標 信賴性 指數는 3.5~4 정도를 가짐이 바람직 하다고 본다.

2) ϕ 와 γ_D 는 L/D 比에 따라 큰 변화가 없으나 γ_L 은 L/D 比에 따라 민감한 反應을 나타낼 수 있었다.

3) β 를 3.5~4로 취할 때 $\bar{R}/R'=1.12$, $V_R=0.15\sim 0.16$ 에서 $\phi=0.7$ 정도가 됨을 알 수 있다.

4) 또한 L/D=1.5~2.0, $V_R=0.16$, $\beta=3.5\sim 4$ 에서 $\gamma_D=1.1$, $\gamma_L=1.6$ 정도가 적절한 값을 그림의 分析 結果를 통해서 보여준다.

5) 위에서 정한 값을 현재의 示方書와 같은 公稱値로 變換하면

$$\phi' = 0.7 \left(\frac{\bar{R}}{R'} \right) = 0.7 \times 1.12 = 0.78$$

$$\gamma_D' = 1.1 \times \left(\frac{\bar{S}_D}{S'_D} \right) = 1.1 \times 1.00 = 1.10$$

$$\gamma_L' = 1.6 \times \left(\frac{\bar{S}_L}{S'_L} \right) = 1.6 \times 1.1 = 1.76$$

으로서 現行 示方書와 비교하면 상당히 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

本 研究에서는 現行의 鐵筋콘크리트 極限強 示方書의 힘에 대한 信賴性 程度를 알아내고 우리 現實에 알맞는 目標 信賴性 指數 β 를 選定하여 그에 相應한 抵抗 및 荷重係數를 Level II 理論에 의하여 求하여 보았다. 그 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 現行 示方書 規準의 信賴性은 一貫性이 결여되어 있어 적절치 못하므로 一貫性 있는 信賴性 理論으로 求한 荷重 및 抵抗係數를 使用해야 함이 바람직하다.

2) Ellingwood 등은 콘크리트 構造의 힘에 대하여 目標 信賴性 指數를 3.0으로 定하고 있는데 우리는 이 보다 높은 3.5~4.0 정도가 바람직한 것으로 보며 이에 따른 公稱 抵抗係數는 $\phi=0.8$, 公稱 死荷重 係數 $\gamma_D=1.1$, 公稱 活荷重 係數 $\gamma_L=1.75$ 정도가 되므로 이에 맞도록 조정함이 좋을 것으로 사료된다.

3) 信賴性 解析을 正確한 反復試行法에 따르지 않고 近似解法에 따르게 되면 위의 係數들이 약간 높은 값으로 나오게 되는데 實用化를

위해서는 近似解法도 바람직한 것으로 본다.

剪斷, 引張, 壓縮部材에 대하여도 마찬가지로

4) 本 研究는 韌性에 대하여만 考察하였는데

信賴性 解析을 적용할 수 있다.

參 考 文 獻

1. 趙孝男, "R.C. 韌 部材의 L.R.F.D. 信賴性 設計基準에 관한 研究", 大韓土木學會 論文集, 第1卷 第1號, 1981年, 12月, pp. 21~32
2. Ellingwood, B., "Reliability of Current Reinforced Concrete Designs", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 105, No. ST4, Apr., 1979, pp. 69~712
3. Ellingwood, B., MacGregor, J.G., Galambos, T.V., and Cornell, C.A., "Probability Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST5, May, 1982, pp. 978~997
4. Galambos, T.V., Ellingwood, B., MacGregor, J.G., and Cornell, C.A., "Probability Based Load Criteria: Assessment of Current Design Practice", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST5, May, 1982, pp. 959~977
5. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Tentative Load and Resistance Factor Design Criteria for Steel Plate Girders", Research Report No. 29, Washington University, Feb., 1976,
6. Ravindra, M.K., and Galambos, T.V., "Load and Resistance Factor Design For Steel", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No. ST9, Sep., 1978, pp. 1337~1353
7. Freudenthal, A.M., "Safety, Reliability and Structural Design", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, No. ST3, Mar., 1961, pp. 1~16
8. Freudenthal, A.M., Garrelts, J.M., and Shinozuka, M., "The Analysis of Structural Safety", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 92, No. ST1, Feb., 1966, pp. 267~325
9. Freudenthal, A.M., "Safety, Reliability and Structural Design", Transactions of ASCE, Vol. 127, 1962, Part II, pp. 304~323
10. Ang, A.H-S., and Amin, M., "Reliability of Structures and Structural Systems", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 94, No. EM2, Apr., 1968, pp. 671~691
11. Ang, A.H-S., "Structural Risk Analysis and Reliability-Based Design", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. ST9, Sep., 1973, pp. 1891~1910
12. Moses, F., and Kinser, D.E., "Analysis of Structural Reliability", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 93, No. ST5, Oct., 1966, pp. 147~164
13. Cornell, C.A., "A Probability-Based Structural Code", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 66, No. 12, Dec., 1969, pp. 974~985
14. Hasofer, A.M., and Lind, N.C., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 100, No. EM1, Feb., 1974, pp. 111~121
15. Ellingwood, B., and Ang, A.H-S., "Risk-Based Evaluation of Design Criteria",

- Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 100, No ST9, Sep., 1974, pp. 1771~1787
16. Leporati, E., "The Assessment of Structural Safety", Series in Cement and Concrete Research, Vol. 1, Research Studies Press, 1979, pp. 1~133
 17. Ellingwood, B., "Reliability Based Criteria for Reinforced Concrete Design", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 105, No ST4, Apr., 1979, pp. 713~727
 18. Ellingwood, B., "Safety Checking Formats for Limit States Design", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No ST7, July, 1982, pp. 1481~1493
 19. Yura, J.A., Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "The Bending Resistance of Steel Beams", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No ST9, Sep., 1978, pp. 1355~1369
 20. Fisher, J.W., Galambos, T.V., Kalak, G.L., and Ravindra, M.K., "Load and Resistance Factor Design Criteria for Connectors", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No ST9, Sep., 1978, pp. 1427~1441
 21. Hansell, W.C., Galambos, T.V., Ravindra, M.K., and Viest, I.M., "Composite Beam Criteria in LRFD", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No ST9, Sep., 1978, pp. 1409~1425
 22. Cooper, P.B., Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "LRFD Criteria for Plate Girders", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No ST9, Sep., 1978, pp. 1389~1407
 23. Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Properties of Steel for Use in LRFD", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 104, No ST9, Sep., 1978, pp. 1459~1468
 24. Ang, A.H-S., and Cornell, C.A., "Reliability Bases of Structural Safety and Design", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 100, No ST9, Sep., 1974, pp. 1755~1769