

確率理論에 基礎한 鐵筋콘크리트 強度設計規準

Probability-Based USD Code for Reinforced Concrete

趙	孝	男*
Cho,	Hyo	Nam
張	東	一**
Chang,	Dong	Il
申	載	喆***
Shin,	Jae	Chul

Abstract

This study is directed to propose a probability based LRFD design code, which could possibly replace the traditional USD provisions of the current code, based on the AFOSM reliability theory.

The uncertainties of resistances and load effects for each R.C. structural elements are evaluated and adopted considering our practice, and a set of rational target reliability indices are selected based on the calibration with the reliability of the current R.C. design code and by considering the desired hierarchy of safety level. Then, a set of common load factors are chosen from the results of load and resistance factors which are computed by AFOSM method using the Rackwitz-Fiessler's efficient practical algorithm which is to transform the non-normal variables into the equivalent normal variables.

It may be asserted that the proposed LRFD code for the R.C. building structures may have to be incorporated into the current R.C. design codes as a design provision corresponding to the USD provisions of the current R.C. design code.

要 旨

現行 在來式 鐵筋콘크리트 標準示方書의 強度設計規準을 代置할 수 있는 AFOSM 信賴性 理論에 의한 LRFD 信賴性 設計規準을 提案하는 것이 本 研究의 主要內容이다.

우리의 現實을 고려한 各 R.C. 構造要素別 抵抗 및 荷重效果의 不確實量을 사용하여 現行 R.C. 標準示方書의 信賴性 水準을 檢定하므로서 우리 實情에 맞는 合理的인 目標信賴性指數를 선택한 다음, 確率變數의 非正規分布를 等價의 正規分布로 變換시킨 Rackwitz-Fiessler의 實用的인 알고리즘을 이용한 AFOSM 法에 의해 計算된 荷重組合別 荷重 및 抵抗係數로부터 合理的인 共通

* 正會員·陸軍士官學校 教授

** 正會員·漢陽大學校 工科大学 教授, 土木工學科

*** 正會員·忠南大學校 工科大学 助教授, 土木工學科

荷重係數를 선정하고 이에 對應하는 各 要素別 抵抗係數를 算定하므로써 LRFD 設計規準을 提案하였다.

本 研究에서 提案하는 R.C. 構造의 LRFD 信賴性 設計規準을 現行 R.C. 標準示方書의 強度設計規準에 對應하는 設計規準으로 導入함이 바람직하다는 事實을 확인할 수 있었다.

1. 序 論

現行 強度設計法에서는 抵抗係數와 荷重係數의 概念을 사용하여 構造物의 強度 및 作用荷重의 不確實性을 처리함으로써 構造物의 安全設計를 도모하는데, 이와 같은 概念을 도입하는 과정에서 設計變數들의 統計的 不確實性은 통상 고려하지 않고 주로 經驗에 의해 決定된 安全마진을 사용하므로 經濟性에서 合理的인 設計가 不可能하다. 따라서 抵抗 및 荷重의 統計的 不確實性을 고려하므로써 一貫性있는 信賴度를 유지케하는 信賴性 設計法에 의해 構造物을 設計하는 것이 바람직할 것이다.

또한, 各種 構造材料別로 一貫性있는 安全性水準을 기대할 수 있고 設計時 혼란을 방지하기 위해서는 相異한 構造材料 및 部材에 대하여 一般적으로 通用될 수 있는 標準에 相應하는 共通荷重係數와 荷重組合으로 발전시키는 것이 바람직할 것이다.

本 研究에서는 最近 發表된 R.C. 部材에 관한 不確實量 및 設計規準^(1,2,3)을 檢討하고, 確率變數의 分布函數를 고려하는 AFOSM 信賴性 設計法에 의해 現行 R.C. 標準示方書의 信賴性水準을 檢定함으로써 보다 合理的인 R.C. 構造(보, 기둥, 슬래브, 확대기초 등)의 統一된 共通荷重係數를 決定하고, 그에 따른 各 部材의 抵抗係數를 提案함과 아울러, 現在까지는 死荷重과 活荷重의 組合(D+L)에 대한 研究였던 것을 死荷重 및 活荷重, 그리고 風荷重의 組合(D+L+W)에까지 확대시켜 設計規準을 提案하므로써 現行 R.C. 標準示方書의 改定方向을 提示하고자 한다.

2. AFOSM 法과 信賴性 設計規準

Cornell⁽⁶⁾이 平均 2次모멘트 Format을 提案한 以後 유럽이나 美國 等에서는 CEB⁽⁶⁾, CIR-IA⁽¹⁷⁾, NKB⁽¹⁹⁾, NBS⁽⁹⁾ 等과 같이 確率理論에

基礎한 設計規準의 體系화된 報告書들이 發表되어 실제 적용하고 있거나 적용을 적극 추진하는 단계에 있으며, 또한 構造 信賴性에 대한 重要한 文獻^(6,7,10,11,13,14,16,21)等이 發表되었다.

AFOSM(Advanced First Order Second Moment)法⁽¹²⁾에 대해서는 既發表 文獻^(1,2) 等에 要約 소개되었으므로 本 研究에서는 간략하게 그 方法만 記術하고자 한다.

2.1 AFOSM 法

그림 1의 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)=0$ 으로 表示된 限界狀態函數에서 變數 X_i 를 $x_i=(X_i-\bar{X}_i)/\sigma_i$ 와 같이 標準變量으로 變換시키면 限界狀態函數는 그림 2의 $g_1(x_1, x_2, \dots, x_n)=0$ 으로 된다. 여기서 信賴性指數 β 는 境界面 $g_1(\cdot)=0$ 까지의 最小거리가 되며, 이러한 最小 거리에 對應하는 境界面上的의 點($x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$)은 檢査點(또는 設計點)으로 고려되며 다음의 방정식 (1)~(3)으로

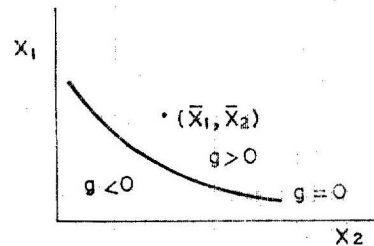


그림 1. 基本座標界

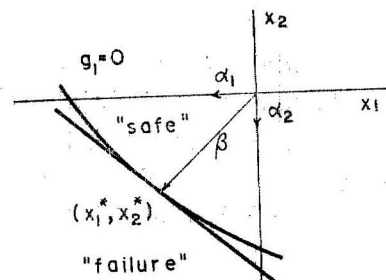


그림 2. 標準化變換座標界

부터 反復試行에 의해 計算할 수 있다.

$$\alpha_i = (\partial g / \partial x_i) / \sigma_i / [\sum \{(\partial g / \partial x_i) \sigma_i\}^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$x_i^* = -\alpha_i \beta \quad (2)$$

$$g_1(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = 0 \quad (3)$$

그러나 實用的인 計算은 그림 1의 基本座標界에서 行하는 것이 편리하며 이때 檢査點은 다음과 같이 된다.

$$X_i^* = \bar{X}_i (1 - \alpha_i \beta \Omega_i) \quad (4)$$

$$g(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 0 \quad (5)$$

위와 같은 一般化過程에서 荷重 및 抵抗의 分布形態가 非正規分布일때는 Rackwitz-Fiessler⁽¹⁷⁾가 提案한 非正規分布를 等價의 正規分布로 變換시킨 近似的 解析法을 사용할 수 있다. 즉 上術한 信賴性 解析過程에서 임의의 設計點 X_i^* 에서의 反復試行에 앞서 非正規變數를 等價의 正規變數로 變換시키는 것인데, 基本 概念은 設計值 X_i^* 에 대한 실제적인 累積確率值와 確率密度值가 正規變數와 같게 되는 等價의 標準偏差 σ_i^N 와 平均 \bar{X}_i^N 을 구하는 것으로서 다음과 같이 유도된다.⁽¹⁷⁾

$$\sigma_i^N = \phi(\Phi^{-1}[F_i(X_i^*)]) / f_i(X_i^*) \quad (6)$$

$$\bar{X}_i^N = X_i^* - \sigma_i^N \Phi^{-1}[F_i(X_i^*)] \quad (7)$$

여기서 $F_i(\cdot)$, $f_i(\cdot)$ 는 X_i 의 累積分布函數 및 確率密度函數이고 $\phi(\cdot)$, $\Phi^{-1}(\cdot)$ 은 각각 標準正規變數에 대한 確率密度函數 및 累積分布函數의 逆이다.

前術한 方法을 이용한 信賴性 解析法을 要約하면 다음과 같다.

段階 1. 고려하고자 하는 限界狀態函數를 定한다.

段階 2. 信賴性指數 β 를 假定한다.

段階 3. 모든 i 에 대해 初期檢査值 $X_i^* = \bar{X}_i$ 를 設定한다.

段階 4. 위의 式 (6), (7)에 따라 非正規變數들에 대하여 等價의 正規分布 平均 \bar{X}_i^N 과 標準偏差 σ_i^N 을 計算한다.

段階 5. 推定點 X_i^* 에서 偏微分 $\partial g / \partial X_i$ 를 計算한다.

段階 6. 方向餘弦 α_i 를 計算한다.

$$\alpha_i = (\partial g / \partial x_i) \sigma_i / [\sum \{(\partial g / \partial x_i) \sigma_i\}^2]^{1/2}$$

段階 7. X_i^* 의 새로운 값을 計算한다.

$$X_i^* = \bar{X}_i^N - \alpha_i \beta \sigma_i^N$$

그리고 α_i 가 수렴될때까지 段階 4~7을 反復한다.

段階 8. 고려하는 $g(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 0$ 에 대하여 β 를 計算한다. 그리고 연속적인 反復試行에 의해 β 의 差異가 許容限界內에 들때까지 段階 4~8을 反復한다.

또한, 設計 安全母數 ϕ, γ_i 를 決定하고자 할 때에는 目標信賴性指數 β_0 가 주어지면 X_i^* 를 假定하여 위의 段階 4~8의 過程을 거쳐 $\bar{X}_i = X_i^* / \bar{X}_i$ 로부터 ϕ, γ_i 를 計算할 수 있다.

2.2 信賴性 設計規準

英國을 中心으로 유럽에서는 CEB-FIP 信賴性 設計規準^(6, 11)에 基礎을 둔 LSD型 R.C. 設計示方書가 수년전부터 사용되고 있으며, 美國에서는 Galambos, Ellingwood, MacGregor, Cornell 등을 中心으로 PBLSD 形態로서 시공재료에 무관한 荷重組合의 信賴性 設計規準^(9, 10)의 開發과 LRFD型 R.C. 構造의 信賴性 設計規準^(8, 13)의 도입을 위한 檢討가 진행중이며, 最近에 發表된 ANSI 荷重規準인 NBS SP-577⁽⁹⁾에서 體系化되었다고 볼 수 있다. 現行 強度設計法과 유사한 形態의 規準으로 되어 있는 荷重-抵抗係數 設計法(LRFD)과 限界狀態 設計法(LSD)은 모두가 Level I 信賴性 設計規準이며 이들 사이에 根本的인 設計概念上的 差異는 없고, 다만 抵抗係數를 部分抵抗係數로 取하는 것이 LSD型 設計法이고, 全體抵抗係數로 取하는 것이 LRFD型 設計法이다. 적절한 目標信賴性指數에 對應하는 各種 限界狀態方程式의 荷重 및 抵抗係數들을 Level II 信賴性 理論에 따라 合理的인 Level I化 過程을 거쳐 決定하는 技法은 同一하다.

目標信賴性指數 β_0 의 선택과 ϕ, γ_i 같은 安全母數의 決定을 위한 檢定(calibration)方法으로는 社會·經濟性 分析(socio-economic analysis), 판단(judgement), 現行規準 信賴性水準 準用, 規準最適化(code optimization)技法 등이 사용되고 있다.

2.3 荷重組合

構造物에 作用하는 荷重은 대개 時間에 따라 變化한다. 만일 構造要素가 死荷重에다 단지 하

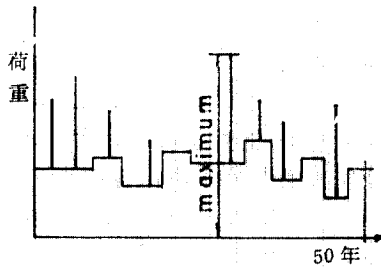


그림 3.全體荷重

나의 時間—變化荷重에 종속한다면 信賴性은 死荷重과 最大時間—變化荷重의 組合을 고려하기 만 하면 決定된다. 그러나 一定期間동안 構造物에 여러개의 時間—變化荷重이 作用하는 것이 보통이며, 이와 같이 여러개의 時間—變化荷重이 作用한다고 할 때 그림 3과 같이 각각의 荷重이 동시에 그들의 수명간 最大値에 도달할 경우는 거의 없다고 보아야 할 것이다. 따라서 構造物의 成分은 수명간 最大値들의 合보다는 작은 全體荷重에 대해서 設計되어야 할 것이다. 이러한 荷重組合을 취급하는데 있어서 가장 보편적인 접근법은 Turkstra 法⁽²²⁾에 의해 荷重組合의 最大値는 하나의 荷重이 그 最大値일 때 다른 荷重은 순간값(instantaneous 또는 arbitrary-point-in-time load, 즉 L_I 또는 L_{sp})을 갖는다고 假定하는 것이다.^(9,10) 즉 $D+L+W$ 荷重組合의 경우 全體荷重效果 S 는

$$S = \begin{cases} S_D + S_{L_I} + S_W & (8a) \\ S_D + S_L + S_W & (8b) \end{cases}$$

으로 나타낼 수 있으나 式 (8b)의 경우는 $D+L$ 荷重組合의 경우로 代置가 가능하므로 本研究의 $D+L+W$ 荷重組合에 대해서는 式 (8a)를 取하기로 한다.

그밖의 荷重組合($D+S, D+L+E, D+L+H, D-W$ 等)과 相異한 材料(P.S., 금속, Masonry等)에 대해서도 統計資料와 그 特性을 이용하면 本研究에서의와 같은 方法으로 求解될 수 있다.

3. 荷重 및 抵抗의 確率分布와 統計值

지난 십여년간 國內외의 信賴性 研究는 統計資料의 利用性과 지속적으로 變化하는 知識水準에 의해 平均, 分散 그리고 確率分布에 대하여 항상 같은 값을 사용하지는 않았다. 本研究에서 사용된 統計値는 構造荷重과 荷重모델, 構造部材의 舉動, 그리고 信賴性 設計에 관해 外國文獻들에서 提示된 資料 및 國內의 既發表文獻들의 資料를 綜合하여 工學的 判斷 및 經驗等 으로부터 國內의 現實에 適合하다고 思料되는 값으로서 다음 表 1과 같다. 抵抗 및 荷重效果의 平均 및 不確實量 計算式은 既發表 文獻 1, 2, 3과 文獻 8, 9 등에 詳述되어 있으므로 여기서는 略하였다.

荷重의 確率分布函數는 國內 統計資料의 부족으로 NBS⁽⁹⁾에서 택한 모델을 사용하였다. 즉 $D+L$ 荷重組合에서 死荷重 D 는 正規分布, 最大活荷重 L 은 Type I Extreme value를, $D+L_I+W$ 荷重組合에서는 D 는 正規分布, 瞬間活荷重 L_I 는 Gamma 分布, 最大風荷重 W 는

表 1. 抵抗 및 荷重 統計值

		不 確 實 量					平均—公稱比				
		Ω_R	Ω_{SD}	Ω_{SL}	Ω_{SL_I}	Ω_W	\bar{R}/R_n	\bar{D}/D_n	\bar{L}/L_n	\bar{L}_I/L_{In}	\bar{W}/W_n
휨	보	0.16	0.10	0.26	0.50	0.37	1.12	1.05	1.20	0.50	0.90
	2방향슬래브	0.16	0.24	0.35	0.50	0.37	1.12	1.05	1.20	0.50	0.90
	확대기초	0.18	0.10	0.26	0.50	0.37	1.12	1.05	1.20	0.50	0.90
剪斷	보	0.17	0.10	0.26	0.50	0.37	1.09	1.05	1.20	0.50	0.90
	2방향슬래브	0.17	0.24	0.35	0.50	0.37	1.09	1.05	1.20	0.50	0.90
	확대기초	0.19	0.10	0.26	0.50	0.37	1.09	1.05	1.20	0.50	0.90
壓縮	머기둥	0.17	0.10	0.26	0.44	0.37	1.05	1.05	1.20	0.50	0.90
	나선기둥	0.17	0.10	0.26	0.44	0.37	1.05	1.05	1.20	0.50	0.90

表 2. 抵抗 및 荷重의 確率分布函數

抵抗	荷重				
	R	D	L	L_I	W
對數正規分布	正規分布	Type I	Gamma 分布	Type I	

Type I Extreme value distribution를 택하였다. 단 확대기초의 荷重分布는 거의 正規分布에 가깝다고 判斷되므로 本 研究에서는 正規分布로 택하였다. 또한 本 研究에서 취급하는 R.C. 構造別 抵抗分布는 NBS(=正規分布)와 달리 既發表 文獻^(1,2,3)에서 取한 對數正規分布모델을 사용하였다. 위의 事項을 要約하면 다음 表 2와 같다.

4. 計算 및 考察

4.1 現行 強度設計規準의 信賴性 檢定

다음 그림 4는 表 1의 數值들을 사용하여 現行 R.C. 設計規準의 信賴性指數 β 를 $D+L$ 荷重組合의 경우 各部材別로 荷重比 L/\bar{D} 에 따라 計算한 것을 圖示한 것이다. 그림에서 보면 R.C. 構造의 通常 荷重比인 $L/\bar{D}=0.5\sim 1.0$ 사이에서 β 는 樑의 경우 3.1~2.6, 剪斷에서는 3.15~2.7, 띠기둥일때 3.85~3.3, 나선기둥일때 3.5~3.0으로 分布하므로 그 分布幅은 약 0.5 정도되나 NBS⁽⁹⁾에서 行한 ACI 318-77의 R.C. 보(樑)에 대한 β 는 3.0~2.8 사이에서 分布하므로 그 幅은 약 0.2이다. 따라서 現行 強度設計規準은 ACI 318-77보다 荷重比 L/\bar{D} 의 變化에 銳敏함을 알 수 있다.

그림 5는 $D+L_I+W$ 荷重組合일때 R.C. 보(樑)에 대한 β 를 荷重比에 따라 圖示한 것이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 信賴性指數 β 는 \bar{W}/\bar{D} 가 증가함에 따라 감소하고, L_I/\bar{D} 가 증가함에 따라 β 도 같이 증가한다. 또한 風荷重이 主要 荷重成分일 경우의 β 值는 2.0에 접근하며, 活荷重과 死荷重이 커질수록 β 는 $D+L$ 荷重組合의 경우와 거의 같은 값으로 증가한다. 일반적으로 $D+L+W$ 荷重組合일때는 現行 設計規準에서 全體荷重係數의 0.75倍를 使用하므로 $D+L$ 荷重組合일 때보다 다소 낮은 信賴性을 갖는다.

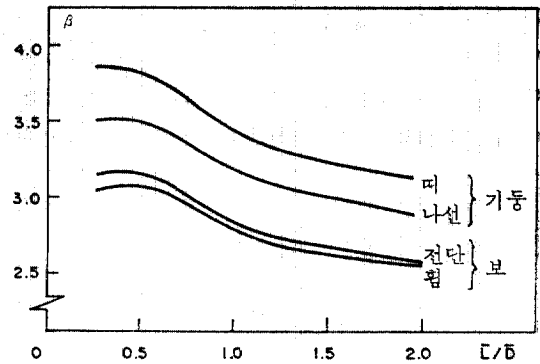


그림 4. β v.s. L/\bar{D} ; ($D+L$)

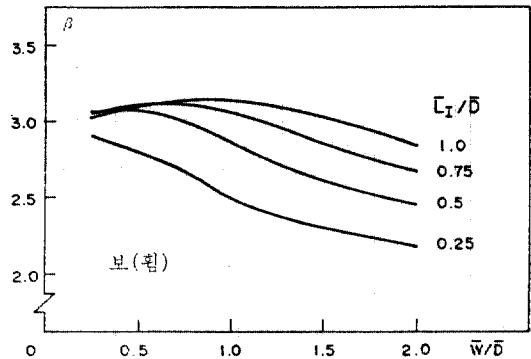


그림 5. β v.s. \bar{W}/\bar{D} , L_I/\bar{D} ; ($D+L_I+W$)

4.2 目標信賴性指數의 選定

目標信賴性指數(β_0)의 合理的인 선택방법은 많은 研究에도 불구하고 選擇基準에 대한 理論的 根據의 결핍으로 因하여 아직 鼎立되지 못했다. CIRIA Report 63⁽¹⁷⁾에서는 社會·經濟的 基準에 의한 接近方法으로, NBS SP-577⁽⁹⁾에서는 現行 規準에 대한 信賴性 檢定方法으로 β_0 를 決定했으나 最適 β_0 를 決定하는 方法이라 할 수 없으며, 銳敏性 解析 및 最適化 方法에 基礎한 最適 β_0 의 선택에 관한 研究가 現在 進行中에 있다.

本 研究에서 使用한 β_0 의 體系的 決定方法은 文獻 4의 4.3節에 詳述되어 있으므로 여기서는 略하였다.

4.3 信賴性 設計規準

그림 6은 선택된 目標信賴性指數(表 3 참조)

에 대한 $D+L$ 荷重組合의 경우 보(뿔) 및 나선기둥, 슬래브(뿔)의 L/D 의 변화에 따른 공稱值인 ϕ, γ_i' 값을 圖示한 것이다. 그림에서 보면 γ_D' 는 荷重比에 거의 무관하고, 荷重比가 증가할수록 ϕ' 는 0.1 정도, γ_L' 는 0.5 정도 커지는데 活荷重係數 γ_L' 는 荷重比의 변화에 상당히

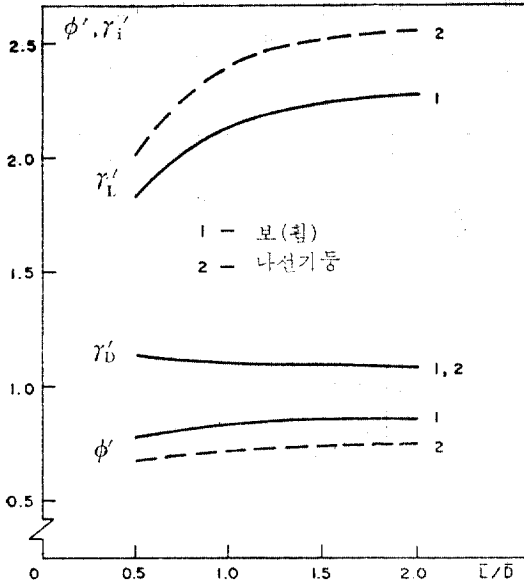


그림 6. ϕ', γ_i' v.s. L/D ; ($D+L$)

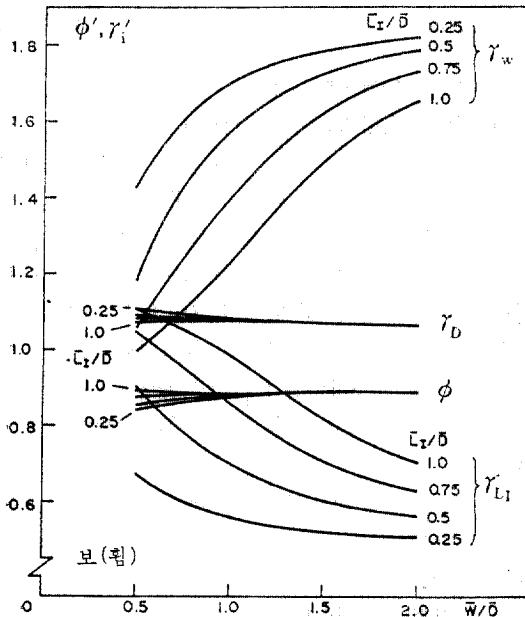


그림 7 ϕ', γ_i' v.s. $W/D, L/D$; ($D+L+W$)

銳敏함을 나타낸다. 이는 活荷重의 統計的 不確實量이 크기 때문이다. 또한 既發表 文獻⁽¹²⁾에서와 같은 荷重의 確率分布를 고려하지 않은 設計法으로 ϕ', γ_i' 를 計算하여 보면 各 要素別 ϕ', γ_D' 는 本 研究의 計算結果와 거의 같은 값을 갖는데 反해 γ_L' 는 전반적으로 本 研究의 結果值보다 약 0.3~0.5 정도 낮게 나온다. 이는 荷重의 確率分布를 고려하는 것이 보다 正確한 結果值를 얻는데 重要하다는 것을 나타낸다.

그림 7은 $D+L+W$ 荷重組合일때 보(뿔)의 荷重比의 변화에 따른 ϕ', γ_i' 값을 圖示한 것이다. ϕ' 와 γ_D' 는 荷重比의 변화에 거의 무관하게 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있으며, γ_L' 와 γ_W' 는 L/D 및 W/D 의 변화에 따라 대단히 크게 변화한다. W/D 가 증가할수록 γ_W' 는 증가하나 γ_L' 는 감소하는데 비해, L/D 가 증가할수록 γ_W' 는 감소하나 γ_L' 는 증가하므로 γ_L' 와 γ_W' 는 서로 역비례하는 現狀을 알 수 있다.

4.4 各 設計規準의 比較

表 3은 各 設計規準에서의 部材別·荷重組合別 公稱 抵抗係數 및 荷重係數 ϕ, γ_i 와 本 研究에서 提案한 R.C. 各 構造要素別 目標信賴性指數 β_0 를 매트릭스로 나타낸 것이다. 表 3의 抵抗係數는 現實을 고려한 共通荷重係數를 決定한 다음 等價의 信賴性을 갖는 各 構造要素別 ϕ 값을 計算하여 設計時 편리한 값으로 提案하였다. 現行 強度設計規準이나 ACI 318-83, ANSI 荷重規準^(9, 13)에서는 뿔과 剪斷의 경우 各 各 共通的인 값을 사용하고 있으나 各 構造別 特性을 고려해 볼때 本 研究에서 提案하는 表 3과 같이 보, 슬래브, 확대기초, 띠기둥, 나선기둥에 대한 各 各의 抵抗係數를 사용하는 것이 바람직하다고 思料된다. 本 研究에서 提案하는 抵抗係數가 ANSI 荷重規準보다 다소 낮은 것은 우리의 現實을 고려하여 ANSI 規準보다 安全側의 γ_L 을 택하였기 때문이다.

5. 結 論

研究內容의 結果를 分析·考察한 결과, 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 現行 強度設計規準의 信賴性을 檢討한 결과 信賴性 水準이나 體系面에서 不合理的을 알

表 3. 各 設計規準의 抵抗係數 및 荷重係數

		β_0	抵抗係數(ϕ)				荷重係數(γ_i)					
			本研究	現 行	ACI	ANSI	D+L		D+L _I +W			
							γ_D	γ_L	γ_D	γ_{L_I}	γ_W	
원	보	3.0(2.5)	0.80	0.90	0.90	0.85	本研究	1.2	1.9	1.2	0.5	1.4
	슬래브	2.8(2.5)	0.75	0.90	0.90	0.85	現 行	1.5	1.8	1.125	1.35	1.35
	확대기초	4.0(3.5)	0.65	0.90	0.90	0.85	ACI	1.4	1.7	1.05	1.275	1.275
전 단	보	3.2(2.7)	0.70	0.85	0.85	0.70	ANSI	1.2	1.6	1.2	0.5	1.3
	슬래브	3.0(2.7)	0.65	0.85	0.85	0.70	※ 荷重組合이 D+L _I +W 인 경우 現行 R.C. 示方書의 γ_i 값: $\gamma_D=0.75 \times 1.5=1.125$ $\gamma_{L_I}=0.75 \times 1.8=1.35$ $\gamma_W=0.75 \times 1.8=1.35$					
	확대기초	4.2(3.7)	0.55	0.85	0.85	0.70						
압 축	머기둥	4.0(3.5)	0.60	0.70	0.70	0.65						
	나선기둥	3.5(3.0)	0.65	0.75	0.75	0.70						

수 있다.

2) 信賴性 解析 및 設計過程에서 確率變數의 分布形態가 非正規分布일때는 等價의 正規分布로 變換시키는 Rackwitz-Fiessler 알고리즘을 사용하는 것이 보다 正確한 解를 구할 수 있음을 알 수 있다.

3) 現行 強度設計規準의 安全母數는 本 研究 결과 提案된 表 3과 같은 安全母數 매트릭스로 改定하는 것이 바람직하다고 思料된다.

4) 本 研究에서 提案된 信賴性 設計規準의 취약점은 統計資料의 不正確性에 있으므로 이에 관련된 研究가 보완되어야 한다고 思料된다.

謝 辭

끝으로 本 研究는 韓國科學財團研究費로 實施하였으며 研究費를 支給하여 本 研究를 可能하게 한 財團當局에 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

- 趙孝男, "R.C. 원部材의 L.R.F.D. 信賴性 設計規準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.
- 趙孝男, "鐵筋콘크리트 道路橋 上部構造의 信賴性 設計規準에 관한 研究", 大韓土木學會 論文集 第 2 卷 第 3 號, 1982年 10月, pp.44~56.

- 趙孝男, 閔庚周, "螺旋기둥의 信賴性 設計規準에 관한 研究", 大韓土木學會 論文集 第 3 卷 第 4 號, 1983年 12月, pp.11~20.
- 趙孝男, 申載喆, 全載明, "確率理論에 基礎한 鐵筋콘크리트 許容應力設計規準", 大韓土木學會 論文集 第 6 卷 第 4 號, 1986年 12月, pp.19~26.
- "Common Unified Rules for Different Types of Construction and Material", CEB Bulletin No.116E, 1976.
- Cornell C.A., "A Probability-Based Structural Code", *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.66, No.12, 1969, pp.974~985.
- Ditlevsen O., "Generalized Second-Moment Reliability Index", *Journal of Structural Mechanics*, Vol.7, 1979, pp.435~451.
- Ellingwood B., "Reliability Basis of Load and Resistance Factors for Reinforced Concrete Design", *NBS Building Science Series 110*, U.S. Dept. of Commerce, Feb. 1978.
- Ellingwood B., "Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58", *National Bureau of Standards Publication 577*, Washington, D.C., 1980.
- Ellingwood B., "Probability Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations", *Journal of the Structural Div., ASCE*, Vol.108, No.ST5, May 1982, pp.978~997.
- "First Order Reliability Concepts for Design

- Codes", CEB Bulletin No.112, July 1976.
12. Lind N.C. and Hasofer A.M., "Exact and Invariant Second-Moment Code Format", *Journal of the Engineering Mechanics Div., ASCE*, Vol.100, No. EM1, Feb. 1974, pp.111~121.
 13. MacGregor J.G., "Load and Resistance Factors for Concrete Design", *ACI Journal*, July-August 1983, pp.279~287.
 14. Madsen H.O., Krenk S. and Lind N.C., "*Methods of Structural Safety*", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1986.
 15. "Probabilistic Basis for Design Criteria in Reinforced Concrete", Reinforced Concrete Research Council, ASCE Bulletin No.22, 1985.
 16. Rackwitz R. and Fiessler B., "Structural Reliability under Combined Random Load Sequences", *Computers & Structures*, Vol.9, 1978, pp.489~494.
 17. "Rationalisation of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes", CIRIA Report No.63, London, 1977.
 18. Ravindra M.K. and Lind N.C., "Theory of Structural Code Optimization", *Journal of the Structural Div., ASCE*, Vol.99, 1973, pp.541~553.
 19. "Recommendations for Loading and Safety Regulations for Structural Design", NKB Report, No.36, Copenhagen, No.1978.
 20. Siu W.W., Parami S.R. and Lind N.C., "Practical Approach to Code Calibration", *Journal of the Structural Div., ASCE*, Vol.101, 1975, pp.1469~1480.
 21. Thoft-Christensen P. and Baker M., "*Structural Reliability Theory and Its Applications*", Springer-Verlag, Berlin, 1982.
 22. Turkstra C.J., "*Theory of Structural Design Decisions*", SM Study No.2, Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Waterloo, Canada, 1970.

(接受: 1986. 9. 6)