

캔틸레버擁壁의最適設計

Optimum Design of Cantilever Retaining Wall

金 鍾 玉*
Kim, Jong Ok

Summary

In this study, the algorithm for the optimum design of cantilever retaining wall was developed and solved using Modified Method of Feasible Directions(MMFD), Sequential Linear Programming(SLP) and Sequential Quadratic Programming(SQP).

The algorithm was applied to the optimum design of 3-different height cantilever retaining walls.

It was shown that even though the starting points and optimization strategies are different, the objective function and optimum design variables converge to within a close range, and consequently the reliability and efficiency of the underlying optimum design algorithm can be verified.

It is expected that the optimum design algorithm developed in this study can be utilized efficiently for the optimum design of any scale cantilever retaining wall.

Using optimum design method, cantilever retaining wall will be designed more economically and reasonably than using traditional design method.

I. 緒 論

構造物の最適設計에 관한 연구는 1869년 Maxwell이 발표한 트러스 부재의最適配置에 관한論文에서 부터 시작되었다고 하지만 非線形計劃技法을 이용하고 컴퓨터를 이용하여最適設計값을 구할 수 있는 近代의 개념의最適設計는 1960년 Schmit가 “Structural Deign by Systematic Synthesis”라는 획기적

인 논문을 통하여最適化의概念을體系的으로 제시함으로써 급진적으로 발전하기 시작하였다.^{9,11,12)} 그후 약 30여년 동안最適設計 분야에서는 각종最適化技法의 이론과 이들 이론을 이용하여 실제로 최적설계값을 구할 수 있는 최적설계 패키지 프로그램의開發에 관한 연구가 집중적으로 遂行되어 왔다. 그 결과 逐次無制約計劃技法(SUMT), 逐次線形計劃技法(SLP), 逐次2次計劃技法(SQP), 修

* 公州大學校 産業科學大學

키워드 : 最適設計, 非線形計劃法, 設計變數, 目的函數, 制約條件式, 캔틸레버擁壁, 修正可能方法, 逐次線型計劃法, 逐次2次計劃法

正可能方向技法(MMFD)등 다수의最適化技法의理論이開發되었으며⁶⁾ 최적설계 패키지 프로그램도 많이 개발되어 94년 현재 상용화 된것만도 GENESIS, DOT, OPTDES 등 약 15종이 넘는다. 따라서 이제는最適設計에 관한 이론에 관하여 깊은 지식이 없는 사람이라도 이들 패키지 프로그램을 이용하면 각종構造物의最適設計를遂行할 수 있게 되었고 그러므로 이제는最適設計法이 실제構造物의設計에 이용될 수 있도록成熟되었다고 말할 수 있게 되었다.

그러나 아직도 대부분의設計實務자들이最適設計法에 익숙치 못하기 때문에 아직까지도 최적설계법은 새로운 분야로 인식되고 있고 그 활용도 아주 초기 단계에 있는 실정이다. 따라서 이제부터는各種構造物의諸般特性을 고려하여 그構造物의設計에關聯된固有의最適化問題 알고리즘을開發하여 이를 확실히檢證한 후에 그 모델을設計實務자들에게普及해 나가므로써 실제로各種構造物을 설계할 때最適設計法을 활용하여 수행할 수 있도록 각 구조물별 최적설계 모델을 개발하는 것이 무엇보다 크게 요구되고 있다.

이와같은要求에副應하기 위하여 본 연구에서는 대표적인 철근콘크리트構造物이라 할 수 있는擁壁의最適設計를 위한合理的인最適化問題를形成하고 이最適化問題의 알고리즘에 따라서 컴퓨터 프로그램을 개발하므로써各種規模의擁壁을 설계하는데 활용할 수 있는擁壁의最適設計모델을提示하고자 한다.

II. 擁壁에作用하는外力^{1,2)}

擁壁에作用하는外力으로는土壓과上載荷重을 고려하였다.

1. 土壓

擁壁에作用하는土壓은옹벽背後의흙에

의한主動土壓만을고려하였고土壓계산에는식(1)과같은Coulomb의공식을사용하였다.

$$P_a = \frac{1}{2} C_a w h^2 \dots\dots\dots(1)$$

여기서 C_a : 주동토압계수로서 식(2)로 표현된다.

w : 흙의 단위 중량

h : 옹벽의 높이

$$C_a = \frac{\sin^2(\theta - \alpha)}{\sin^2 \theta \sin(\theta + \beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \delta)}{\sin(\theta + \beta) \sin(\theta - \delta)}} \right]^2} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 θ : 옹벽 배면이 수평면과 이루는 각

α : 뒷채움 흙의 내부 마찰각

β : 옹벽 배면과 뒷채움 흙사이의 마찰각

δ : 옹벽 배후의 지표면이 수평면과 이루는 각

2. 上載荷重

擁壁의 상부 가까이에서車輛이나建物등에 의하여荷重이 작용하면擁壁에作用하는橫方向壓力이增加된다. 이와 같은 경우에는 작용하중을 뒷채움 흙의 중량으로換算하여 그만큼 흙이 더 있는 것으로 보고土壓을 계산하게 되는데 하중의 종류, 작용 위치 등에 따른土壓은文獻²⁾의 방법을 이용하여 계산하였다.

III. 最適化問題形成

1. 設計變數

設計하고자 하는擁壁은 Fig. 1과 같은 캔틸레버擁壁이며設計變數는 Fig. 1에 표시된 바와같이斷面各部의 치수와擁壁의 단위 길이 당 벽체, 앞판 및 뒷판에 배근해야할鐵筋斷面積으로 잡았다.

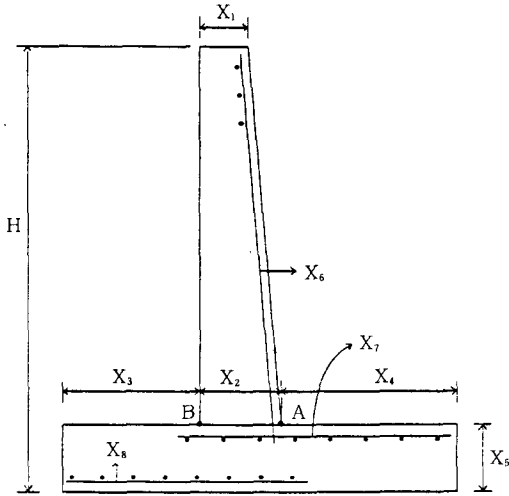


Fig. 1. Cross Section of Cantilever Retaining Wall and Design Variables

2. 目的函數

設計變數가 單價가 서로 다른 철근콘크리트 단면 치수와 鐵筋 斷面積으로 구성되었기 때문에 目的函數는 단위 길이의 擁壁 設置에 소요되는 材料의 총 經費로 잡았으며 식 (3)과 같다. 이때 각 材料의 單價는 94년 7月 物價 情報에 의거 콘크리트 45,000원/m³, 鐵筋은 300원/kg으로 계산하였는데 鐵筋에 所要되는 經費는 鐵筋의 비중량을 고려하여 鐵筋의 體積을 무게로 환산해서 계산되도록 하였다.

$$F(X) = \left\{ [(X_2 + X_3 + X_4)X_5 + \frac{(X_1 + X_2)(H - X_5)}{2.0}] \times 4,500,000 + [X_6(H - X_5) + X_7(X_2 + X_4) + X_8(X_2 + X_3)] \times 1,952,028 \right\} / 1000000.0 \dots\dots(3)$$

여기서 $X_1 \sim X_5$: 擁벽의 각 단면 치수(cm)
 $X_6 \sim X_8$: 擁벽 단위 길이당 배근해 약할 철근단면적(cm²/m)

3. 制約條件式

制約條件式은 擁壁의 安定條件, 強度設計法

에 의한 앞판, 뒷판, 벽체의 諸般設計條件과 콘크리트 표준시방서의 諸般 條件을 고려하여 다음과 같이 誘導하였다.

가. 擁壁의 顛倒에 대한 安定을 위한 制約 條件式

$$G_1(X) = 0.2 - \frac{M_r}{M_0} \leq 0 \dots\dots\dots(4)$$

여기서 M_r : 옹벽 및 흙의 자중에 의한 저항 모멘트

M_0 : 토압 및 상재하중에 의한 전도 모멘트

나. 滑動에 대한 安定을 위한 制約 條件式

水平 土壓에 의한 擁壁의 滑動에 抵抗하는 힘은 基礎 低面에서의 摩擦力과 앞판 전면에서의 受動土壓이다. 그러나 受動土壓은 무시하는 것이 보통이므로 滑動에 抵抗하는 힘은 摩擦力 뿐이라고 보았다.

$$G_2(X) = 2.0 - \frac{f(\Sigma W)}{\Sigma H} \leq 0 \dots\dots\dots(5)$$

여기서 f : 마찰계수

ΣW : 연직력의 합계

ΣH : 수평력의 합계

다. 外力의 合力 R의 作用線이 基礎 저판의 길이 B의 중앙 1/3내에 있기 위한 制約 條件式

$$G_3(X) = e - e'' \leq 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$G_4(X) = e\ell - e \leq 0 \dots\dots\dots(7)$$

여기서 e : 연직력의 합계 ΣW 의 작용점과 擁벽 저판의 중앙점과의 편심거리

$$e'' = \frac{B}{6}$$

$$e^l = \frac{B}{6}$$

라. 沈下에 대한 安定을 위한 制約條件式

저판 밑에 일어나는 壓力은 편심거리 e 의 크기에 따라 각각 Fig.2의 (a), (b), (c)와 같이 분포하며 각 경우의 최대압력 P 는 다음과 같이 계산된다.

1) $e < \frac{B}{6}$ 일 경우 [Fig. 2의 (a)]

$$P = \frac{\Sigma W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots(8)$$

2) $e = \frac{B}{6}$ 일 경우 [Fig. 2의 (b)]

$$P = \frac{2\Sigma W}{B} \dots\dots\dots(9)$$

3) $e > \frac{B}{6}$ 일 경우 [Fig. 2의 (c)]

$$P = \frac{2\Sigma W}{3a} \dots\dots\dots(10)$$

e 의 크기에 따라 식 (8)~(9)에 의하여 계산된 최대 압력 P 가 基礎地盤의 許容 支特力을 超過하지 않아야 沈下에 대하여 安定을 維持한다.

$$G_5(X) = P - S_{allow} \leq 0 \dots\dots\dots(11)$$

여기서 S_{allow} : 기초지반의 허용 지지력

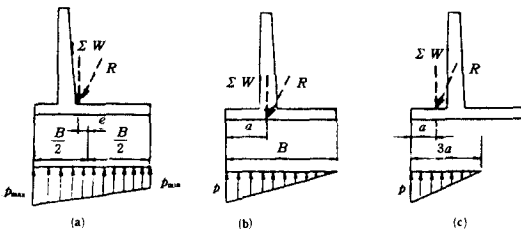


Fig. 2 Earth Pressure Distribution based on the Acting Point of External Force

마. 뒷판의 設計를 위한 制約條件式

Fig. 1의 뒷판 A점 위치의 斷面에서 휩설계 및 剪斷設計에 대한 制約條件式을 세우면 다음과 같다.

1) 휩설계

$$G_2(X) = M_{uh} - \phi M_{nh} \leq 0 \dots\dots\dots(12)$$

여기서 M_{uh} : 소요 휩강도

ϕ : 강도 감소 계수

M_{nh} : 공칭 휩모멘트 강도

2) 전단설계

$$G_7(X) = V_{uh} - \phi V_{nh} \leq 0 \dots\dots\dots(13)$$

여기서 V_{uh} : 소요 전단강도

V_{nh} : 공칭 전단강도

3) 최소 철근량

$$G_8(X) = A_{min} - X_7 \leq 0 \dots\dots\dots(14)$$

여기서 A_{min} : 최소 철근량

바. 앞판의 設計를 위한 制約條件式

앞판은 벽체와 저판의 접합부 즉 Fig.1의 B점을 고정지점으로 하는 캔틸레버로 보고 설계한다. 전단설계는 B점과, B점에서 앞판의 유효높이 d 만큼 떨어진 위치에서 검토하였고 휩설계는 B점에서만 검토하였다.

1) 전단설계

$$G_9(X) = V_{utb} - \phi V_{ntb} \leq 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$G_{10}(X) = V_{utd} - \phi V_{ntd} \leq 0 \dots\dots\dots(16)$$

여기서 V_{utb} : B점에서 소요 전단강도

V_{ntb} : B점에서 공칭 전단강도

V_{utd} : B점에서 d만큼 떨어진 곳에서
소요 전단강도

V_{ntd} : B점에서 d만큼 떨어진 곳에서
공칭 전단강도

2) 휨설계

$$G_{11}(X) = M_{utb} - \phi M_{ntb} \leq 0 \dots\dots\dots(17)$$

여기서 M_{utb} : B점에서 소요 휨모멘트 강도

M_{ntb} : B점에서 공칭 휨모멘트 강도

3) 최소 철근비

$$G_{12}(X) = A_{min} - X_s \leq 0 \dots\dots\dots(18)$$

사. 壁體의 設計量 위한 制約條件式

壁體는 최대 휨모멘트가 발생하는 벽체와
저판의 접합부 상면을 고정지점으로 하는 캔
틸레버로 보고 설계 하였다.

1) 전단설계

$$G_{13}(X) = V_{us} - \phi V_{ns} \leq 0 \dots\dots\dots(19)$$

여기서 V_{us} : 벽체와 저판 접합부의 벽체단
면에서 소요전단강도

V_{ns} : 벽체와 저판 접합부의 벽체단
면에서 공칭전단강도

2) 휨설계

$$G_{14}(X) = M_{us} - \phi M_{ns} \leq 0 \dots\dots\dots(20)$$

여기서 M_{us} : 벽체와 저판의 접합부의 벽체
단면에서 소요 휨모멘트 강도

M_{ns} : 벽체와 저판의 접합부의 벽체
단면에서 공칭 휨모멘트 강도

3) 최소 철근비

$$G_{14}(X) = A_{min} - X_6 \leq 0 \dots\dots\dots(21)$$

IV. 最適化技法^{5,6,10)}

一般的으로 構造物의 最適設計問題는 制約
條件을 갖는 最適化問題가 되며 이와같은 最
適化問題는 다음과 같은 조건을 만족하는 設
計變數 벡터 (X)를 찾는 문제가 된다.

$$\text{Minimize : } F(X) \dots\dots\dots(22)$$

Subject to

$$G_j(X) \leq 0 \quad j=1, M \dots\dots(23)$$

$$X_i^l \leq X_i \leq X_i^u \quad i=1, N \dots(24)$$

식 (22)~(24)로 構成된 構造物의 最適設計 문
제에서는 일반적으로 目的函數와 制約條件式이
設計變數에 대한 非線形 函數로 나타나게 된
다. 이와같은 形式의 最適化問題를 푸는 방법
은 여러가지 방법이 개발되어 있지만 본 연구
에서는 그중에서 우수한 방법이라고 평가되고
있는 다음과 같은 3가지 방법을 사용하였다.

1. 修正 可能方向性

이 방법은 信賴性이 있고 최소의 컴퓨터 기
역용량으로 해결할 수 있는 방법이라고 평가
되는 방법으로서 이 방법에서는 X의 초기값
 X^0 가 주어지면 식(25)에 의해서 식(23)~(24)를 만
족시키면서 목적함수 $F(X)$ 를 최소화 하는
방향으로 X가 개선되어 간다.

$$X^q = X^{q-1} + a^* S^q \dots\dots\dots(25)$$

여기서 q 는 반복 횟수이고, S^q 는 벡터 탐색
방향이며 a^* 는 설계변수를 바꾸어 나가는 양
을 조절하는 계수이다.

全體的인 最適化 과정은 다음과 같은 段階
에 따라 進行된다.

- 1) $q=0$ 와 $X = X^0$ 로 시작한다.
- 2) q 를 $q+1$ 로 증가 시킨다.

- 3) $F(X^{q-1})$ 과 $j=1, M$ 의 모든 制約條件式 $G_j(X^{q-1})$ 을 계산한다.
- 4) 臨界(critical) 制約條件式 J 개를 알아낸다.
- 5) Gradient $\nabla F_j(X^{q-1})$ 과 J 개의 制約條件式에 대한 $\nabla G_j(X^{q-1})$ 을 계산한다.
- 6) 深索方向 S^q 를 결정한다.
- 7) 일방향 深索技法에 의하여 a^* 를 찾아낸다.
- 8) X^q 를 $X^{q-1} + a^*S^q$ 로 대치한다.
- 9) 最適点에 收斂與否를 判斷해서 收斂되었으면 끝내고 그렇지 않으면 段階 2)부터 다시 시작 하여 反復한다.

이 방법에서 가장 중요한 부분은 S^q 와 a^* 를 찾는 것과 최적점에서 수렴여부를 판단하는 것인데 이에 대한 理論은 文獻^{5,10)}에 자세히 설명되어 있다.

2. 逐次 線形計画法

이 방법은 여러개의 函數 計算이 요구되는 一般的인 應用問題에 效率的이라고 알려진 방법으로서 다음과 같은 과정으로 最適化問題를 푼다.

식(22)~(24)와 같은 非線形計劃問題의 最適化問題에서 目的函數와 制約條件式에 대하여 Taylor급수 전개를 하여 1차항 까지만 고려하면 식(26)~(27)과 같이 目的函數와 制約條件式이 線形化 된다.

$$\tilde{F}(X) = F(X^{q-1}) + \nabla F(X^{q-1})^T \cdot \delta(X) \dots\dots(26)$$

$$\tilde{G}_j(X) = G_j(X^{q-1}) + \nabla G_j(X^{q-1})^T \cdot \delta(X) \quad j \in J \dots\dots\dots(27)$$

여기서

$$\delta X = X^q - X^{q-1} \dots\dots\dots(28)$$

J 는 임계제약 조건식의 수

이와 같이 非線形計劃問題를 線形計劃問題로 逐次的으로 代置하여 精確한 해에 도달할 때까지 반복하므로써 해를 구하는 방법이며 전체적인 최적화 과정은 다음과 같다.

- 1) 현재의 設計變數값이 현재의 반복과정에서 사용될때 가장 臨界的인 制約條件式들을 고른다.
- 2) 1)항에서 선정된 制約條件式과 目的函數에 대하여 Taylor급수 전개를 하여 1차항 까지만 고려한다.
- 3) 設計變數에 대한 이동한계를 결정한다.
- 4) 線形化된 近似 最適化 問題를 푼다.
- 5) 收斂與否를 判斷해서 收斂되었으면 끝내고 그렇지 않으면 단계 2)부터 다시 반복한다.

3. 逐次 2次計画法

이 방법은 最適化問題가 잘 구성되어 있다면 이론적으로는 가장 좋은 방법으로 알려져 있다.

이 방법은 크게 두가지 단계로 구성되어 있다. 첫째 단계에서는 Taylor급수 전개에 의하여 목적함수는 2차항까지를 고려 하고 제약조건식은 1차항까지를 고려하여 식(29)~(30)과 같이 探索方向 S 를 결정하는 近似化된 副問題를 만든다.

$$\text{Minimize } QS = F^0 + \nabla F^T S + \frac{1}{2} S^T B S \dots\dots(29)$$

Subject to

$$(\nabla G_j)^T S + G_j^0 \leq 0 \quad j=1, M \dots\dots\dots(30)$$

이 副問題는 Modified Method of Feasible Directions과 같은 방법을 사용하여 푼다. 이 副問題가 풀려서 探索方向 S 가 결정 되었을때 이 副問題에 대한 最適点에서 라그랑즈 乘數 λ_j 를 계산하여 다음과 같은 最適化問題를 구성

한다.

$$\text{Minimize } \Phi = F(\mathbf{X}) + \sum_{i=1}^M U_i \max[0, G_i(\mathbf{X})] \quad \dots\dots\dots(31)$$

여기서

$$(\mathbf{X}) = \mathbf{X}^{s-1} + a \mathbf{S} \quad \dots\dots\dots(32)$$

$$U_j = |\lambda_j| \quad j=1, M \text{ (첫째 반복과정)} \quad \dots\dots(33)$$

$$U_j = \max[|\lambda_j|, \frac{1}{2}(U_j' + |\lambda_j|)] \quad j=1, M \text{ (2회이상 반복과정)} \quad \dots\dots\dots(34)$$

$$U_j' = \text{직전 반복과정의 } U_j$$

식 (31)~(34)의 最適化問題는 一方向 探索 問題가 되고 이를 풀어서 最適點을 찾아내는 방법이 SQP이다.

V. 設 計 例

본 연구에서 개발된 擁壁의 最適設計問題에 관한 알고리즘의 信賴性, 效率性, 適用可能性을 檢證하기 위하여 다음 조건을 만족하며 높이가 3.5, 5.5, 7.5m인 3가지 경우의 容積에 대하여 PC 486 DX를 사용하여 最適設計를 遂行하였다.

設計條件: 擁壁 背後의 地表面은 水平이고 $q=1.9\text{t/m}^2$ 의 上載荷重이 작용하며 흙의 단위 중량은 $w=1.6\text{ t/m}^3$ 이고 內部 摩擦角은 $\alpha=35^\circ$ 임. 콘크리트와 地盤사이의 摩擦係數는 $f=0.55$ 이고 $\sigma_{ck}=240\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_v=2800\text{ kg/cm}^2$ 이며 基礎地盤의 許容 支持力은 19 t/m^2 임.

VI. 結果分析 및 考察

1. 最適設計값의 導出過程

實際 構造物의 最適設計問題는 多數의 設計變數와 制約條件式을 갖는 非線形計劃問題로 구성된다. 이와 같은 最適設計問題에서 完整

한 全體 最適設計값 (Global Optimum Value)을 찾아내기란 不可能에 가까운 일이다. 그러나 初期 設計값(Starting Point)을 여러가지로 바꾸어가면서 最適設計를 遂行하여 目的函數나 設計變數의 값이 거의 같은 값으로 收斂한다면 이값을 全體 最適設計값으로 볼 수 있기 때문에 실제로 最適設計를 遂行할때는 初期 設計값을 바꾸어가면서 最適 設計값을 구하여 거의 같은 값으로 收斂될때 그중에서 가장 좋은 값을 선택하게 된다.⁵⁾

最適設計問題가 잘 形成되었다면 設計變數의 初期值에 관계없이 또한 最適化技法에 관계없이 거의 같은 값으로 收斂하는 것이 一般的이다. 따라서 본 연구에서는 擁壁의 높이에 따른 3가지 경우마다 각각 3가지 最適化技法을 적용하여 最適解를 구했는데 각 경우마다 初期值를 10가지 이상씩 變化시키면서 最適設計를 遂行하여 그 결과들 중 가장 合理的인 값을 각 最適化技法에 대한 최적설계값으로 결정하였다.

본 연구에서는 初期值를 10가지 이상씩 變化시키면서 最適設計를 수행시켜 본 결과 初期值의 변화에 다른 최적설계값의 差異는 별로 크지 않았으며 그렇기 때문에 그 비슷한 값들 중에서 가장 合理的인 값을 全體 最適設計點이라고 보아도 무리가 없을 정도의 結果가 導出되었다. 이와 같은 과정을 거쳐 導出된 最適設計 結果는 Table-1과 같다.

2. 最適化問題 알고리즘의 信賴度

開發된 最適化問題의 알고리즘을 이용하여 어떤 規模의 擁壁을 설계하더라도 初期 설계값이나 사용된 最適化技法에 관계없이 合理的인 最適設計값을 일정하게 구할 수 있어야만 그 最適化 問題의 알고리즘을 信賴하고 實際 擁壁設計에 適用할 수 있게 된다. 따라서 實際 最適設計問題에서 알고리즘의 信賴度가 가장 중

Table-1. The Result of Optimum Design

Design Variables	Dimension	Optimum Value									Maximum Difference among 3 Methods			Percentage of Max. Difference			Mean
		H=3.5m			H=5.5m			H=7.5m			H						
		MMFD	SLP	SQP	MMFD	SLP	SQP	MMFD	SLP	SQP	3.5	5.5	7.5	3.5	5.5	7.5	
X ₁	cm	30.00	30.00	30.00	30.00	30.01	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01
X ₂	cm	35.00	35.00	35.00	55.00	55.00	55.00	78.53	78.60	78.66	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.16	0.05
X ₃	cm	43.75	43.75	43.75	68.75	68.75	68.75	113.95	113.71	113.88	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.21	0.07
X ₄	cm	165.87	166.38	166.33	225.28	226.15	225.90	274.16	274.56	274.11	0.51	0.87	0.45	0.30	0.38	0.16	0.28
X ₅	cm	26.49	26.56	26.55	49.66	49.83	49.78	78.72	78.84	78.71	0.07	0.17	0.13	0.26	0.34	0.16	0.25
X ₆	cm ² /m	14.32	14.37	14.36	24.92	24.91	24.91	36.26	36.29	36.19	0.05	0.01	0.10	0.34	0.04	0.27	0.21
X ₇	cm ² /m	21.61	21.68	21.67	28.48	28.65	28.56	36.22	36.28	36.22	0.07	0.17	0.06	0.32	0.59	0.16	0.35
X ₈	cm ² /m	8.61	8.64	8.64	20.19	20.28	20.25	34.72	34.78	34.72	0.03	0.09	0.06	0.34	0.44	0.17	0.31
Obj. Func.	Won	95327	95543	95506	218507	219098	218889	414754	415287	414863	216	591	533	0.22	0.27	0.12	0.20
No. of Iteration		11	7	7	11	5	4	8	4	6							
No. of Function Evaluation		205	77	80	182	46	42	119	46	73							

요한다. 조 등⁴⁾ 등 近接 最適解를 구하는 信賴度가 알고리즘의 優秀性을 판단하는 正確한 尺度가 된다고 하였다. 본 연구에서 개발된 擁壁의 最適設計를 위한 最適化 問題 알고리즘의 信賴度를 檢證하기 위하여 Table-1에 나타난 바와 같이 높이 3.5, 5.5, 7.5m인 擁壁에 대하여 각각 MMFD, SLP, SQP의 3가지 最適化 技法을 이용하여 最適設計값을 구하였다.

그리고 높이에 따른 3가지 경우의 擁壁마다 3가지 最適化 技法을 이용하여 구한 最適設計값의 最大 差異와 이 最大 差異의 最小 設計變數에 대한 백분율을 구해 보았다. Table-1에 나타난 바와 같이 3가지 最適化 技法으로 구해진 最適設計값의 最大 差異의 最小 設計變數에 대한 백분율은 0.00에서 0.59%까지 분포되어 있다. 또한 目的函數의 경우에는 0.12~0.27%이었다. 이 정도의 차이는 거의 무시할 수 있을 정도이므로 본 연구에서 開發된

擁壁의 最適設計問題 알고리즘을 사용하면 어떤 初期值에서 출발하던 또 어떤 最適化 技法을 사용하던 항상 일정한 最適設計값을 얻을 수 있다고 말할 수 있다. 한편 制約條件에 銳敏한 反應을 보이는 設計變數의 경우 擁壁의 높이가 增加할수록 그에 相應하여 合理的인 增加를 보이고 있으며 目的函數 역시 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이와같은 사실로 미루어 보건대 본 연구에서 개발된 擁壁의 最適設計問題 알고리즘은 信賴性이 인정되며 따라서 이를 이용하면 어떤 높이의 擁壁이라도 그 높이만 결정해 주면 信賴性있는 最適設計값을 구할 수 있게 된다. 따라서 본 最適設計問題의 알고리즘은 각종 規模의 擁壁을 設計할때 效率的으로 活用할 수 있을 것으로 判斷된다.

3. 最適化의 效率性

조 등⁴⁾은 알고리즘의 效率性을 判斷하는

尺度로서 주어진 最適設計를 遂行하는데 몇회 이내의 函數(및 導函數) 計算으로 이루어지는가가 重要한 尺度라고 하였다.

또한 Karihaloo 등^{7, 8)}은 最適設計 遂行시 CPU time은 函數 계산 횟수에 직접적으로 비례한다고 하였다. 그런데 CPU time은 컴퓨터機種에 따라 차이가 있으므로 실제로 函數 계산횟수가 最適化技法 및 알고리즘의 效率性을 判斷하는 重要한 尺度가 되는 것이다.

Table-1에서 보면 函數계산 횟수는 MMFD, SLP SQP기법의 경우 높이 3.5m 擁壁의 경우에는 각각 205, 77, 80회이고 5.5m인 경우에는 186, 46, 42회이며 7.5m인 경우에는 119,46,73회로 나타났으며 반복횟수도 SLP와 SQP법의 경우가 MMFD법의 경우에 비하여 적으므로 效率性의 측면에서는 SLP법과 SQP법이 優秀한 技法인 것으로 나타났다.

또한 3가지 最適化 技法을 사용했을 경우에 대한 收斂 特性은 Fig. 2에 나타나 있다. 收斂 特性은 擁壁의 높이가 다르더라도 거의 일정하게 나타났기 때문에 Fig. 3에는 5.5m 擁壁의 경우에 대한것만을 나타내었다. Fig. 3에서 보면 3가지 方法 모두 振動없이 安定的이고 迅速하게 最適設計값에 收斂하는 것으로 나타났다. 또한 3가지 方法 모두 거의 동일한 값에 收斂하므로 本 研究에서 개발된 最適設計

問題는 合理的이고 效率的이며 信賴性이 있음을 立證할 수 있었다.

4. 最適化問題 알고리즘의 適用可能性 및 活用效果

本 研究에서 遂行된 最適設計의 결과치에 대하여 構造解析을 遂行해본 결과 構造工學의 으로 안전하였고 콘크리트 표준시방서의 設計基準을 모두 滿足하였다. 따라서 本 最適設計問題의 알고리즘이 各種 規模의 擁壁設計에 실제로 適用 可能한 것으로 判斷된다.

한편 높이 5.5m 擁壁의 경우 文獻²⁾에서 在來의 方法에 의하여 設計한 경우에 비하여 8.2%의 經費 節減을 할 수 있는것으로 나타났다. 이러한 점으로 보아 擁壁의 經濟的인 設計를 遂行하는데 本 알고리즘이 效果的으로 活用될 수 있을 것으로 期待된다.

또한 在來의 方法에 의하여 設計를 遂行할 경우 設計變數의 값을 適切히 假定하는데 많은 經驗이 要求될 뿐만 아니라 그 計算量이 막대하여 假定과 解析의 反復作業에 막대한 노력이 要求되고 또한 計算課程에서 誤謬를 범할 위험이 있으나 本 알고리즘을 活用할 경우 빠른 시간안에 계산의 誤謬없이 最適設計 값을 구할 수 있는 效果를 가져올 수 있다.

VII. 結 論

本 研究에서는 철근콘크리트 캔틸레버 擁壁의 最適設計를 위한 合理的인 最適設計問題의 알고리즘이 開發되었다. 開發된 알고리즘을 이용하여 높이 3.5, 5.5, 7.5m의 캔틸레버 擁壁의 最適設計를 遂行해 본 결과 알고리즘의 信賴도와 效率性이 높은것으로 認定되었으므로 本 研究에서 提示된 캔틸레버 擁壁의 最適設計 모델은 合理的으로 잘 開發되었다고 判斷된다. 따라서 本 研究에서 開發된 擁壁 最

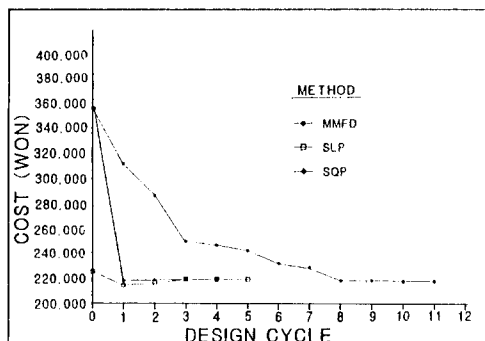


Fig. 3. Design Objective Convergence History

最適設計問題의 알고리즘을 사용할 경우 어떤規模의 캔틸레버擁壁을 설계할 때라도 基本的인 常數값만 入力하면 自動的으로 合理的인 最適設計값을 구할 수 있게 된다.

또한 最適設計法을 이용할 경우 在來式 設計法에 의하여 설계한 경우에 비하여 상당한 經費 節減을 할 수 있을 뿐만 아니라 設計의 過程에서 요구되는 막대한 量의 反復 計算을 줄일 수 있고 또한 誤謬를 범하지 않게 되므로 本 研究에서 開發된 擁壁의 最適設計問題 알고리즘은 各種 規模의 擁壁 設計에 效率的으로 活用될 수 있을 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. 건설부(1989), 콘크리트 표준시방서, 대한 토목학회, 서울.
2. 邊東均, 申鉉默, 文濟吉(1984), 철근콘크리트, 東明社, 서울.
3. 서경민, 유연선(1992), 구조 최적설계를 위한 2차 계획문제의 효율적인 해법, 대한 토목학회논문집 제12권제1호, pp.59-70.
4. 조효남, 박문호, 유연선(1991), 구조물의 최적설계, 한국전산구조공학회, 서울, pp. I-64~I-114.
5. DOT User's Manual, VMA Engineering, Colorado Springs, CO, 1993.
6. Haftka, R. T., Gurdal, Z and Kamat, M. T. (1990), Element of Structural Optimization, Kluwer Academic Publisher.
7. Karihaloo, B. L. (1993), "Most Efficient NLP Techniques in Optimum Structural Frame Design", Engineering Optimization, Vol. 20, No.4, pp.261-272.
8. Karihaloo, B.L. & Kanagasundaram (1988), "Comparative Study of NLP Techniques in Optimal Structural Frame Design", In Rozvany, G. I. N. and Karihaloo, B. L. (eds)Structural Optimization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp.143-150.
9. Schmit, L. A. (1960). "Structural Design by Systematic Synthesis", Proc. 2nd Conference on Electronic Computation, ASCE, New York, pp.150-122.
10. Vabderplaats G. N.(1984), Numerical Optimization Techniques for Engineering Design, McGRAW- HILL, New York.
11. Vanderplaats G. N. (1991), "Efficient Structural Optimization Techniques", Proceedings of the forth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.
12. Vanderplaats G. N. (1993), "Thirty Years of Modern Structural Optimization" Advances in Engineering Software, 16, pp.81-88.