

철근콘크리트 암거의 형상 최적화 Shape Optimization for Reinforced Concrete Culvert

김기대*
Kim, Kee-Dae*

<Abstract>

In this paper, the shape optimization is considered over the upper slab of reinforced concrete culvert. The sequential linear programming method (SLP) is used as a rational approach to this shape optimization. To make a comparison between the arch shaped member and the straight member for the upper slab, the culverts with 5~20m earth height were adopted. It is shown that the optimum rise/span is about 7%-13%, and the arch shaped member is more cheap (over 10%) than the straight member for the construction cost.

Key Words : *Shape optimization, Reinforced concrete culvert, construction cost*

1. 서론

지금까지 국내에 시공된 철근콘크리트 암거의 상당수는 상판하면에 균열, 누수, 백태 등으로 심하게 열화되어 있는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 손상의 원인은 대개 암거가 흙덮이에 의한 연직토압에 취약한 구조로 되어 있기 때문인데, 이를 개선하기 위해서는 암거상판의 형상을 Arch形으로 하여 작용 휨 Moment를 줄임으로서 이를 해결할 수 있을 것으로 본다.

그러나, 지금까지 건설교통부의 암거 표준도나 실무에서 사용되는 설계도에도 이와 같은 문제점에 대한 인식이 부족하므로, 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 최소 건설비용을 목적으로 하는 암거의 형상최적화에 관한 연구를 하게 되었다.

형상최적화분야에서 최초의 시도는 1973년 Zienkiewicz와 Campbell이 설계변수로서 구조

의 형상을 채택한 것이라고 볼 수 있고, 그 후 1981년 Haug와 Cea에 의한 제약조건에 응력·변위·고유진동수 등을 포함하여 2, 3차원 구조물의 형상을 결정하는 보다 광범위한 연구가 있었다(Adeli, 1994; Atrek et al., 1984).

구조물의 형상최적화에는 설계변수로서 구조거동변수뿐만 아니라 형상변수를 포함하게 되며, 형상변수에는 구조 각 요소의 격점좌표가 주로 선정된다.

본 논문에서는 최적화 방법으로 SLP(Sequential Linear Programming)기법을 도입하고, 형상변수로는 암거상판의 Rise를 2차 포물선으로 채택하였다.

적용된 알고리즘의 타당성과 신뢰성을 확인하기 위해 흙덮이가 5.0m, 10.0m, 15.0m, 20.0m인 경우의 철근콘크리트 암거를 예로 들어 암거상판의 Rise가 최적인 경우와 수평인 경우에 대한 최소 건설공비를 비교·검토하여 본 연구의 효용성을 입증하였다.

* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博
E-mail : gdkim@taegu.ac.kr

* prof. Dept. of Construction Environmental Engineering,
Taegu University

2. 최적설계의 방법

2.1 최적설계의 정식화

구조물의 최적설계는 설계변수의 함수로 표시되는 제약조건을 만족하면서 목적함수를 최소 또는 최대로 하는 설계변수의 조합을 수학적방법에 의해 구하는 설계방법이다.

목적함수로는 통상 최소비용, 최소중량, 최소오차, 최대단면계수, 최대강성 등이 고려될 수 있으며, 제약 조건으로는 응력, 변위, 단면치수, 처짐 등의 제한치가 고려될 수 있다.

Kirsch(1981)에 의하면 이러한 구조물 최적화를 위한 일반적인 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= f(X) & (2.1) \\ \text{subject to } g_i(X) &\leq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \end{aligned}$$

여기서, X 는 설계변수의 vector이고, Z 는 목적함수이며, g_i 는 제약조건이다.

2.2 최적화 기법

Morris(1982), Rao(1996)에 의하면 수학적 계획법의 기본이 되는 선형 제약조건을 갖는 선형계획문제의 최적화는 Simplex 알고리즘을 이용하여 비교적 쉽게 해를 구할 수 있으며, 비선형 제약조건을 갖는 최적화 문제는 그 해법으로 다양한 기법들이 사용되고 있는데, 대표적인 방법은 Lagrange Multiplier Method, SUMT(Sequential Unconstrained Minimization Technique), Feasible Direction Method, SLP등이 있다.

이들 중 SLP방법은 연속적인 선형 최적화 기법으로 해법이 간단하고, 기존의 Simplex 알고리즘을 이용하여 비선형 문제를 해결할 수 있는 방법이다(Kirsch, 1981).

1) SLP방법

SLP방법으로 최적해를 구하는 정식화는 먼저 식(2.1)을 X^* 점에 관해 Taylor급수로 전개하여 1차항까지 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= f^* + \{\nabla f^*\}^T (X - X^*) & (2.2) \\ \text{subject to } g_i &= g_i^* + \{\nabla g_i^*\}^T (X - X^*) \leq 0 \end{aligned}$$

여기서, 첨자 $*$ 는 초기 가정해 또는 전 단계의 해를 뜻하고, ∇ 은 Gradient 벡터이다.

2) 이동한계

SLP방법을 적용하여 최적해를 얻는 과정에서 설계변수의 Oscillation을 방지하여 최적해에 빨리 수렴시키기 위해 다음의 이동한계(Move Limits)를 제약조건에 포함시킨다.

$$-\Delta X^L \leq X - X^* \leq \Delta X^U \quad (2.3)$$

여기서, ΔX^L 과 ΔX^U 는 각각 하한과상한의 설계변수 변동량이다.

3. 암거에 작용하는 하중

지하에 묻힌 암거에 작용하는 외력은 되메운 흙에 의한 토압, 암거자중인 고정하중과 노면교통에 의한 활하중의 합계가 된다.

3.1 토압

1)연직토압

Bierbaumer의 계산식에 의하면 깊이 H (m)의 연직토압은 다음식과 같다.

$$P = \gamma H \left\{ 1 - \frac{H \tan \phi \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})}{b + 2h \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})} \right\} \quad (3.1)$$

여기서, b 는 암거의 폭(m),
 h 는 암거의 높이(m),
 ϕ 는 흙의 전단저항각,
 γ 는 되메운 흙의 단위중량(tonf/m³)
 H 는 흙깊이(m)

2)수평토압

암거에 작용하는 수평토압강도는 다음과 같다.

(1)암거의 상단에서 토압강도

$$P_1 = \gamma H_1 K_0 \quad (3.2)$$

(2)암거의 하단에서 토압강도

$$P_2 = \gamma H_2 K_0 \quad (3.3)$$

여기서, H_1, H_2 는 지표에서 구조물의 상단, 하단까지의 깊이(m)
 K_0 는 정지토압계수로서 $1 - \sin \phi$

3.2 노면하중

암거위에 되메운 흙의 높이가 60cm이상되면 차륜하중은 다음식과 같이 암거에 등분포하중으로 작용한다.

$$P_e = \frac{P}{A}(1+i) \quad (3.4)$$

여기서, P 는 차륜하중(또는축하중)
 i 는 충격계수

$$A = (a + 2H \tan \alpha) B_l$$

$$B_l = b + 2H \tan \phi \quad \text{or}$$

자동차의 1차선평폭(3.0m)

$$a \text{는 하중분포각 } (45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

$$a \text{는 차륜의 접지길이}(0.2\text{m})$$

$$b \text{는 차륜폭}(m)$$

그리고, AASHTO시방서에서는 되메운 흙의 깊이가 60cm이상인 경우에는 차륜하중에 의한 암거 상면의 등분포하중을 다음식과 같이 제안하고 있다.

$$P_e = \frac{P(1+i)}{(1.75H)B_l} \quad (3.5)$$

또, 2개 이상의 차륜하중이 재하되어 분포면적이 겹쳐질 경우에는 그 전체 분포면적에 등분포한다고 본다.

3.3 하중의 조합

하중의 조합은 암거의 각 부재에 각각 최대의 응력이 생기도록 고정하중, 활하중, 토압 등이 동시에 작용시킨다. 따라서 각종의 하중을 조합해서 그 중 구조물에 가장 불리한 영향을 주는 하중 조합에 대한 최대 단면력을 설계 단면력으로 한다.

또, 같은 종류의 하중이라도 경우에 따라서는 재하하지 않거나, 1/2만 재하하거나, 양측

또는 편측에 재하시켜 최대응력이 생기는 값을 찾아야 한다.

4. 암거의 형상 최적화

암거의 형상 최적화에서 설계변수를 철근의 단면적, 부재의 길이 및 단면치수로 하고, 목적함수를 최소비용문제로 설정하며, 제약조건은 암거가 주어진 하중조건뿐만 아니라 철근비, 단면치수 및 부재길이의 제한, 휨·전단 및 축응력 등을 고려한다.

철근, 콘크리트 및 거푸집 단가에 따라 특정 부재단면에 대한 비용이 정해지는데, 모든 제약조건을 만족하면서 암거의 건설비용이 최소가 되는 설계변수의 조합을 구하는 것이 최적해가 된다.

4.1 목적함수식

암거를 건설하는 데에는 콘크리트, 철근, 거푸집, 지보공 등의 비용이 포함되는데, 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$Z = C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f + C_{s,t} V_{s,t} + C_m \quad (4.1)$$

여기서, Z 는 구조물의 총건설비용이고, C_c 는 콘크리트의 단위체적당 경비, C_s 는 철근의 단위체적당 경비, C_f 는 거푸집의 단위면적당 경비, $C_{s,t}$ 는 지보공의 단위체적당 경비, C_m 은 기타 경비이며, V_c 는 콘크리트의 체적, V_s 는 철근의 체적, A_f 는 거푸집의 면적, $V_{s,t}$ 는 지보공의 체적이다.

4.2 제약 조건식

암거는 보요소와 기둥요소로 구성된 구조물이다. 따라서, 주어진 하중조건에 따라 보요소와 기둥요소 각각에 대한 지배적인 제약조건은 아래와 같다.

1) 휨응력 제약 조건

$$\phi_f A_s f_y d \left(1 - \frac{0.59 A_s f_y}{f_{ck} b d}\right) \geq \gamma_D M_{Dn} + \gamma_L M_{Ln} \quad (4.2)$$

여기서 ϕ 는 휨에 대한 저항감소계수, γ_D 는 고정하중에 대한 하중계수, γ_L 은 활하중에 대한 하중계수, f_y 는 철근의 항복강도, d 는 부재의 유효높이, f_{ck} 는 콘크리트의 설계기준강도, b 는 부재의 폭, A_s 는 철근의 단면적, M_{Dn} 는 공칭 고정하중으로 인한 휨moment, M_{Ln} 는 공칭활하중으로 인한 휨moment이다.

2) 철근비 제약 조건

(1) 최대 철근비의 제약

최대 철근비는 다음식과 같다.

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \left(0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \frac{6000}{6000 + f_y} \right) \tag{4.3}$$

여기서, ρ_b 는 평형 철근비이고, β_1 은 등가 응력 사각형의 높이와 중립축의 비이다.

따라서, 최대 철근비의 제약조건은 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho < \rho_{max} \tag{4.4}$$

여기서, ρ 는 사용 철근비이다.

(2) 최소 철근비의 제약

최소 철근비는 다음식과 같다.

$$\rho_{min} = \frac{0.8 \sqrt{f_{ck}}}{f_y} \tag{4.5}$$

또는,

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \tag{4.6}$$

따라서 최소 철근비의 제약조건은 식(4.5)와 식(4.6)중 큰 값을 ρ_{min} 으로 하며, 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_{min} < \rho \tag{4.7}$$

3) 이동한계

이동한계의 상한 및 하한에 대한 제약조건은 식(2.3)으로부터 다음식과 같다.

$$X \leq X^* + \Delta X^u \tag{4.8a}$$

$$X \geq X^* - \Delta X^L \tag{4.8b}$$

5. 수치계산에

5.1 설계조건 및 대상 구조물

1) 설계조건

암거(정간 $b \times$ 높이 h): $b=8m, h=6m$

활하중: DB24 or DL24 (1등교)

흙덮이: $H=5.0m, 10.0m, 15.0m, 20.0m$

Rise: $f=0 \sim 5m$ (변화치수)

흙의 단위중량: $\gamma=1.8 \text{ tonf/m}^3$

흙의 전단저항각: $\phi=30^\circ$

정지토압계수: $K_o=1 - \sin \phi=0.5$

콘크리트의 설계 기준강도: $f_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$

철근의 항복강도: $f_y=3000\text{kgf/cm}^2$

재료단가: Concrete 107,000원/m³

철근 863,257원/ton

합판거푸집(3회) 24,125원/m²

지보공 20,500원/공m²

하중계수: 고정 하중 $\gamma_D=1.30$

활하중 $\gamma_L=2.15$

토압 $\gamma_E=1.70$

2) 암거의 설계변수

설계변수는 $X_1 \sim X_9$ 의 9개로 정하였고, Fig. 1에 표시되어 있다.

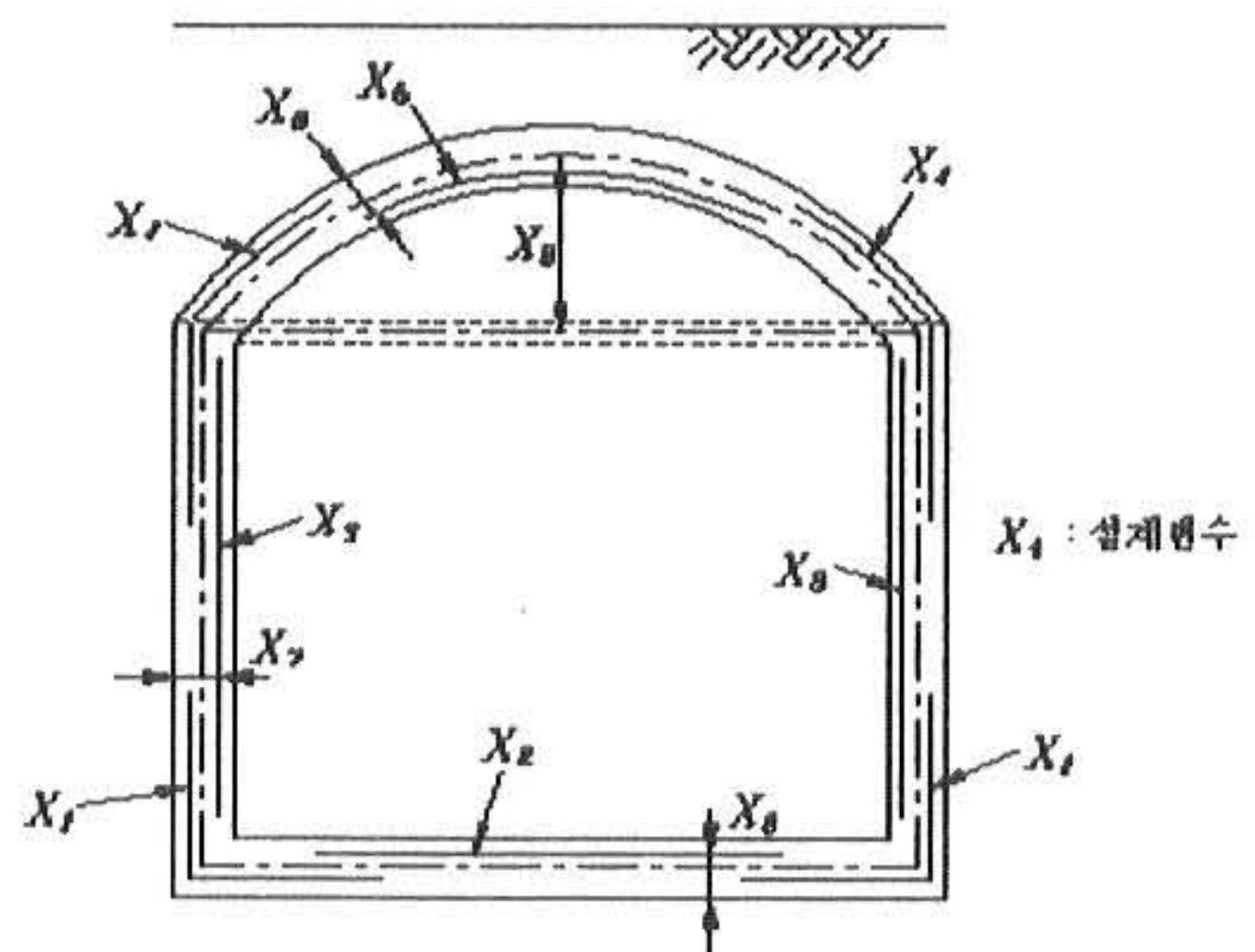
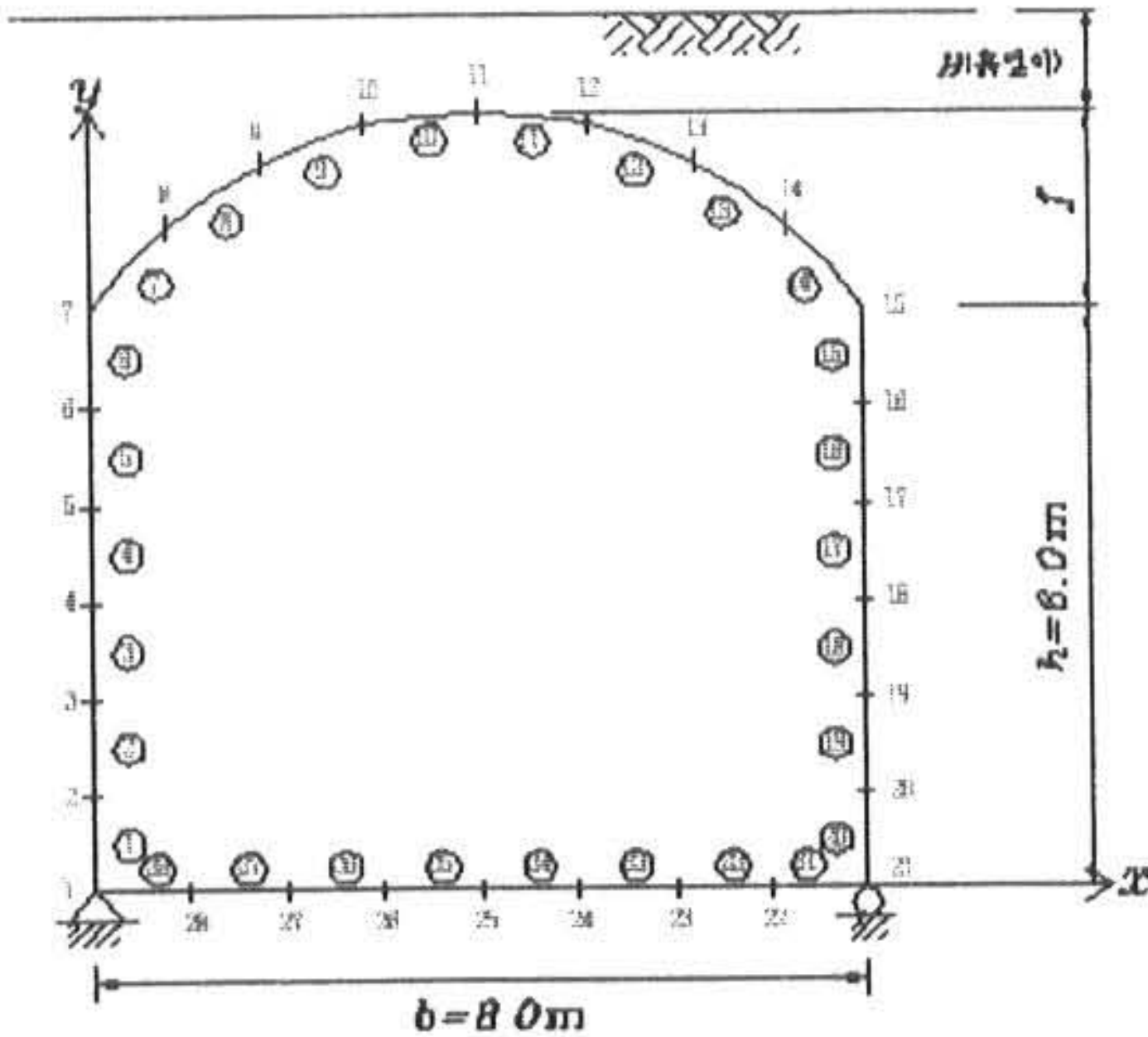


Fig. 1 암거의 설계변수

3) 암거의 Modeling

대상구조물인 암거를 컴퓨터 구조해석을 위해 Modeling 한 것은 Fig. 2와 같다.



*숫자 i 는 node를 뜻하고, ①는 요소를 뜻함

Fig. 2 암거의 Modeling

5.2 최적화 문제의 식

1) 목적함수식의 작성

목적함수는 식(4.1)과 Fig. 1 및 설계조건에 의해 작성하였으며, 다음식과 같다.

$$Z = C_c \{8.0(X_6 + 0.10) + 2 \times 6.0(X_7 + 0.08) + S_o(X_7 + X_8 + 0.16)/2\} + C_s \{14X_1 + 8X_2 + 12X_3 + 14X_4 + 10X_5\} + C_f \{S_o\} + C_{s,1} \{40.2963X_9\} + C_m \quad (5.1)$$

여기서, S_o 는 다음식으로 구한다.

$$S_o = \frac{8}{2} \sqrt{1 + 16 \frac{X_9^2}{8^2}} + \frac{8^2}{8X_9} \ln \left(4 \frac{X_9}{8} + \sqrt{1 + 16 \frac{X_9^2}{8^2}} \right) \quad (5.1a)$$

이 식(5.1a)를 간단히 정리하면 다음과 같다.

$$S_o = 4\sqrt{1 + 0.25X_9^2} + \frac{8}{X_9} \ln(0.5X_9 + \sqrt{1 + 0.25X_9^2}) \quad (5.1b)$$

또, 지보공 면적 A 는 적분하여 다음식으로 구한다.

$$A = \int dA = \int y dx = \int_0^L \frac{4f}{64} (8x - x^2) dx = 40.2963 f = 40.2963 X_9 \quad (5.1c)$$

목적함수 식(5.1)는 고차이고, $X_1 \sim X_9$ 의 함수이므로 식(2.2)와 같이 편미분 또는 수치해석적방법으로 선형화하면 다음 식을 얻는다.

$$Z = F(X) = F(X_1, X_2, \dots, X_9) = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 + \dots + C_9 X_9 + C_{10} \quad (5.2)$$

여기서,

$$C_1 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_1} = 14 C_s$$

$$C_2 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_2} = 8 C_s$$

$$C_3 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_3} = 12 C_s$$

$$C_4 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_4} = 14 C_s$$

$$C_5 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_5} = 10 C_s$$

$$C_6 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_6} = 8 C_s$$

$$C_7 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_7}$$

$$= \frac{F(X_1, X_2, \dots, 1.1X_7, X_8, X_9)}{0.1X_7}$$

$$- \frac{F(X_1, \dots, X_9)}{0.1X_7}$$

$$C_8 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_8}$$

$$= \frac{F(X_1, X_2, \dots, X_7, 1.1X_8, X_9)}{0.1X_8}$$

$$- \frac{F(X_1, \dots, X_9)}{0.1X_8}$$

$$C_9 = \frac{\partial F(X)}{\partial X_9}$$

$$= \frac{F(X_1, X_2, \dots, X_7, X_8, 1.1X_9)}{0.1X_9}$$

$$- \frac{F(X_1, \dots, X_9)}{0.1X_9}$$

$$C_{10} = F(X)^* - C_1 X_1^* - C_2 X_2^*$$

$$- \dots - C_9 X_9^*$$

2) 제약조건식의 작성

(1)응력 제약 조건

본 수치계산에의 암거는 설계 단면력이 휨 모멘트가 지배적이므로 다음식과 같은 단철근 직사각형으로 설계하고, 압축부재로서의 검산을 하기로 한다.

$$M_d - FM(X_6, X_7, X_8, X_9) \geq 0 \quad (5.3)$$

여기서, 설계 휨강도 M_d 는

$$\phi A_s f_y d \left(1 - \frac{0.59 A_s f_y}{f_{ck} b d} \right) \text{이고, 계수 휨모멘}$$

트 FM 은 X_6, X_7, X_8, X_9 의 함수이다.

식(5.3)를 암거의 주요단면에 대해 적용한 예는 아래와 같다.

저판단부와 측벽하단부의 철근량은 X_1 으로 서로 같으나, 유효높이 d 는 저판단부가 크므로 X_1 에 대해서는 저판단부가 지배적인 단면이 된다.

따라서, 측벽하단에 대한 식(5.3)를 식(2.2)에 의해 선형화하면 다음식과 같다.

$$g_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_6 + a_{13} X_7 + a_{14} X_8 + a_{15} X_9 + a_{16} \geq 0 \quad (5.4)$$

여기서,

$$a_{11} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial X_1} \right)_* = 25500 X_7^* - 429857.07 X_1^*$$

$$a_{12} = \left(\frac{\Delta g_1}{\Delta FM} \cdot \frac{\Delta FM}{\Delta X_6} \right)_*$$

$$a_{13} = \left(\frac{\partial g_1}{\partial X_7} + \frac{\partial g_1}{\partial FM} \cdot \frac{\partial FM}{\partial X_7} \right)_* = 25500 X_1^* + \left(\frac{\Delta g_1}{\Delta FM} \cdot \frac{\Delta FM}{\Delta X_7} \right)_*$$

$$a_{14} = \left(\frac{\Delta g_1}{\Delta FM} \cdot \frac{\Delta FM}{\Delta X_8} \right)_*$$

$$a_{15} = \left(\frac{\Delta g_1}{\Delta FM} \cdot \frac{\Delta FM}{\Delta X_9} \right)_*$$

$$a_{16} = g_1^* - a_{11} X_1^* - a_{12} X_6^* - a_{13} X_7^* - a_{14} X_8^* - a_{15} X_9^*$$

(2)최대 철근비 제약 조건

식(4.4)에 의해 아래식과 같이 쓸 수 있다.

$$X_1 - 0.0252875 X_7 \leq 0 \quad (5.5a)$$

$$X_2 - 0.0252875 X_6 \leq 0 \quad (5.5b)$$

$$X_3 - 0.0252875 X_7 \leq 0 \quad (5.5c)$$

$$X_4 - 0.0252875 X_7 \leq 0 \quad (5.5d)$$

$$X_5 - 0.0252875 X_8 \leq 0 \quad (5.5e)$$

(3)최소 철근비 제약 조건

식(4.7)에 의해 아래식과 같이 된다.

$$X_1 - 0.0047 X_7 \geq 0 \quad (5.6a)$$

$$X_2 - 0.0047 X_6 \geq 0 \quad (5.6b)$$

$$X_3 - 0.0047 X_7 \geq 0 \quad (5.6c)$$

$$X_4 - 0.0047 X_7 \geq 0 \quad (5.6d)$$

$$X_5 - 0.0047 X_8 \geq 0 \quad (5.6e)$$

(4)이동 한계 제약 조건

①상한의 이동 한계

식(4.8a)에 의해 다음식과 같다.

$$X_i \leq X_i^* + \Delta X_i^U \quad (5.7)$$

여기서, $i=1, 2, 3, \dots, 9$

②하한의 이동 한계

식(4.8b)에 의해 다음식과 같다.

$$X_i \geq X_i^* - \Delta X_i^L \quad (5.8)$$

여기서, $i=1, 2, 3, \dots, 9$

5.3 최적해의 결과 및 고찰

흙덮이 5.0m, 10.0m, 15.0m, 20.0m 각각에 대해 암거 상판의 형상이 Arch인 경우(Case A)와 수평인 경우(Case B)에 대한 최적해의 결과는 다음 Table 1 ~ Table 6과 같다.

Table 1 ~ Table 3의 결과로 볼 때 Case A의 경우는 Case B의 건설비용에 비해 87.0%~81.8%(13.0%~18.2%건설비 감소)로서 흙덮이 H 가 클수록 건설비의 감소율이 증가 추세인 것을 알 수 있다. 이는 그 결과를 비교 해 놓은 Fig. 3으로부터 쉽게 알 수 있다. 또한 암거 상판의 경우 Case A는 휨모멘트가 적게 작용하여 철근량 X_5 가 최소 철근비 제약 조건에서 결정되었으나, Case B는 큰 휨모멘트가 발생하여 철근량이 최대 철근비 제약 조건에서 결정되는 현상이 나타남을 알 수 있다. 또, 본연구의 경우에서 암거의 최적형상은 암거 상판의 Rise/Span 값이 7%~13%정도로

나타났으며, 이 또한 흠뿔이가 클수록 증가 추세에 있음을 알 수 있다. 위의 결과들은 콘크리트 및 철근단가에 따라 최소건설비용으로 결정되는 것이므로 확정적인 값이라고는 할 수 없으나, 암거의 형상최적화는 반드시 필요한 것임을 입증할 수 있다.

Table 1. 최적해의 결과(Case A)

H(m) 설계변수	5.0	10.0	15.0	20.0	비 고
X_1 (m ²)	0.0035	0.0046	0.0053	0.0058	
X_2 (m ²)	0.0055	0.0078	0.0086	0.0092	
X_3 (m ²)	0.0030	0.0040	0.0049	0.0053	
X_4 (m ²)	0.0030	0.0044	0.0053	0.0058	
X_5 (m ²)	0.0040	0.0052	0.0055	0.0061	
X_6 (m)	0.7500	0.9800	1.1300	1.2000	
X_7 (m)	0.6700	0.8400	1.0400	1.1200	
X_8 (m)	0.8600	1.1000	1.1500	1.3000	
X_9 (m)	0.6000	0.8300	0.9400	0.9900	

Table 2. 최적해의 결과(Case B)

H(m) 설계변수	5.0	10.0	15.0	20.0	비 고
X_1 (m ²)	0.0042	0.0058	0.0074	0.0083	
X_2 (m ²)	0.0055	0.0076	0.0094	0.0104	
X_3 (m ²)	0.0042	0.0058	0.0074	0.0083	
X_4 (m ²)	0.0042	0.0058	0.0074	0.0083	
X_5 (m ²)	0.0145	0.0118	0.0210	0.0230	
X_6 (m)	0.8500	1.0900	1.2500	1.4000	
X_7 (m)	0.8800	1.1000	1.3400	1.4300	
X_8 (m)	0.8800	1.1000	1.3400	1.4300	
X_9 (m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Table 3. 최적결과의 비교

H(m)	5.0	10.0	15.0	20.0	비 고	
Case A	R/S(%)	7.5	10.4	11.8	12.4	
	목적함수 (만원)	427.9	544.6	630.3	687.8	
Case B	R/S(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	
	목적함수 (만원)	491.7	630.7	747.3	840.6	
목적함수의 비교 Case A/Case B(%)		87.0	86.3	84.3	81.8	

* R는 Rise(X_9), S는 Span($b=8m$)

* 목적함수는 암거의 단위길이당 건설비

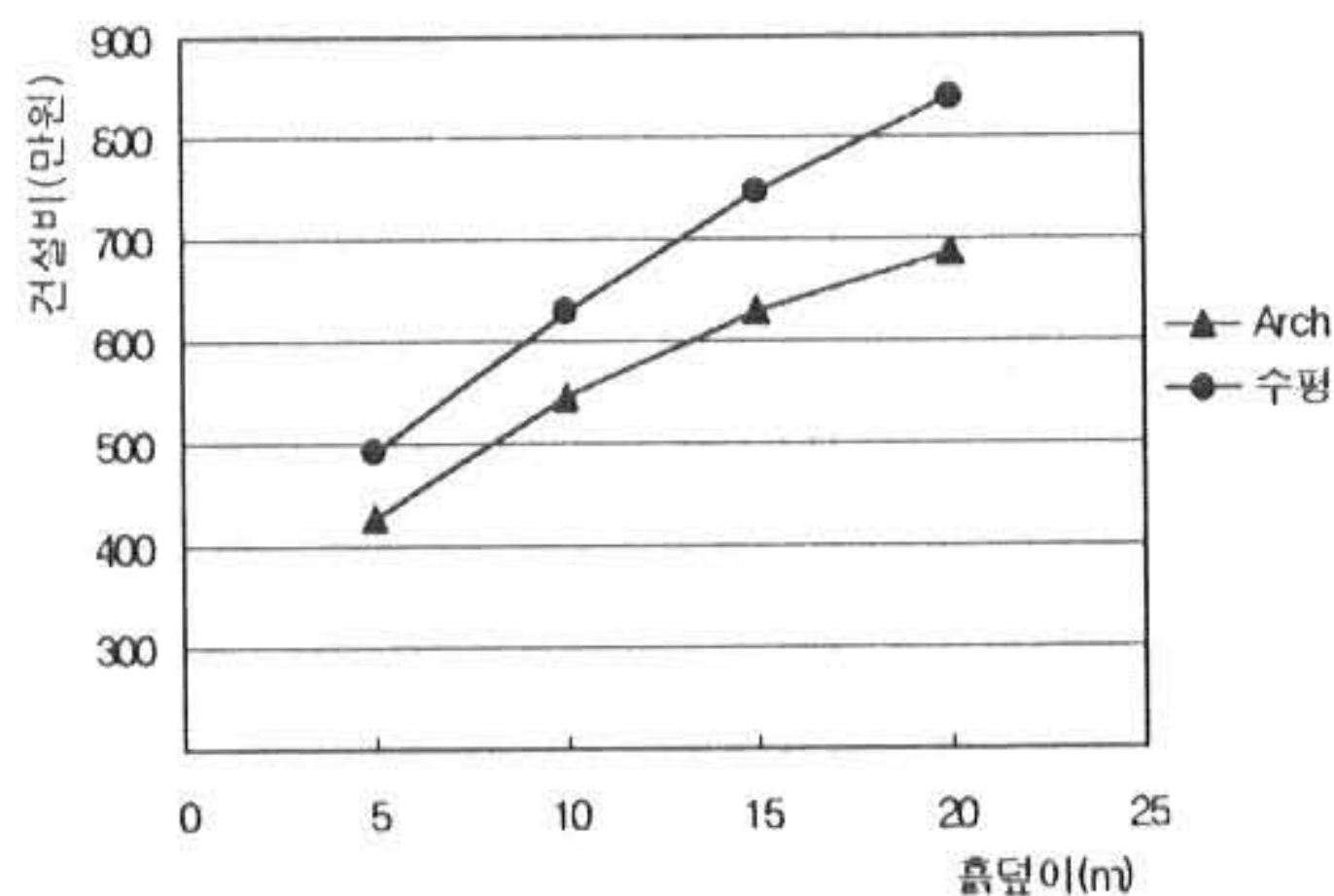


Fig. 3 목적함수값의 비교

6. 결론

본 연구는 암거의 형상최적화를 위하여 목적함수와 제약조건식을 모두 선형식으로 유도하여 선형 계획 프로그램만으로 쉽게 최적해를 얻을 수 있는 SLP방법에 의한 최적화 알고리즘을 도출하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘의 타당성과 신뢰성을 확인하기 위해 흠뿔이 5.0m, 10.0m, 15.0m, 20.0m를 갖는 철근콘크리트 암거를 예로 들어 암거 상판의 Rise가 최적인 경우와 수평인 경우에 대한 최소 건설공비를 비교·검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 흙덮이 5.0m~20.0m인 경우 암거 상판의 형상이 최적인 경우가 수평인 경우보다 13.0%~18.2%정도의 건설비용이 절감되는 것으로 나타났으므로 형상 최적화가 반드시 필요하다고 판단된다.
- 2) 상판의 형상이 최적인 경우는 설계 휨모멘트가 크지 않아 최소 철근비 제약조건에서 철근량이 결정되었으나, 상판이 수평인 경우는 큰 휨모멘트가 발생하여 최대 철근비 제약조건에서 결정되는 현상을 보였다.
- 3) 암거의 최적 형상은 재료의 단가에 따라 다른 결과를 얻을 수 있으나, 본 연구에서는 암거 상판의 Rise/Span값이 7%~13%정도에서 나타났다.
- 4) 흙덮이가 클수록 건설비용의 감소율은 증가하고, 암거 상판의 최적 Rise/Span값도 증가 추세인 것으로 나타났다.

sons Ltd.

- 10) Rao, S. S. (1996). Engineering Optimization (3rd). New York : John wiley & sons Inc.

(2002년 5월 22일 접수, 2002년 8월 20일 채택)

참고문헌

- 1) 金基大, 梁昌鉉, & 趙孝男. (1989). 鐵筋콘크리트 뼈대구조의 信賴性 最適 設計에 관한 研究. 大韓土木學會論文集, 第9卷, 第3号, 57-64
- 2) 金生彬. (2001). 土木構造物設計. 서울 : 技文堂
- 3) 邊東均, 申鉉默, & 文濟吉. (2000). 鐵筋콘크리트. 第5板, 서울 : 東明社
- 4) 梁昌鉉. (2000). 構造工學. 서울 : 淸文閣
- 5) 渡辺 健, & 手塚民之祐. (1971). 箱形ラーメンの設計. 東京 : オーム社
- 6) Adeli, H. (1994). Advances in Design Optimization(pp.400-450). London : chapman & Hall.
- 7) Atrek, E., Gallagher, R. H., Ragsdell, K. M., & Zienkiewicz, O. C. (1984). New Directions in Optimum Structural Design (pp. 89-166). New York : John wiley & Sons Ltd.
- 8) Kirsch, U. (1981). Optimum Structural Design. New York : McGraw-Hill
- 9) Morris. (1982). Foundations of Structural optimization : A unified Approach (pp. 545~558). New York : John wiley &