

2연식 상자형 암거의 최적 설계

Optimum Design of Two Continuous Box Culvert

박 재 규* · 김 종 옥(공주대)

Park, Jae Kyu · Kim, Jong Ok

Abstract

In this study, computer program for the optimum design of two continuous box culvert was developed. It was shown that even though the starting points and optimization method are different, the objective function and optimum design variables converge to a value within a close range respectively, and consequently the optimum design program developed in this study is reliable and robust.

MMFD is the most efficient one from the viewpoint of convergency and computing time.

I. 서론

구조물의 최적설계란 설계하고자 하는 구조물의 설계변수를 가정하여 입력하면 그 구조물에 요구되는 여러 제약조건들을 모두 만족하면서 건설경비를 최소화할 수 있도록 설계변수의 값이 자동적으로 변화되는 과정이 몇 차례 반복된 후 최종적으로 가장 합리적이고 경제적인 설계값을 얻게 되는 설계방법이다.

현실적으로는 최적설계법이 구조물의 설계에 매우 유용하다는 사실이 증명되고 있긴 하지만, 아직도 실무 설계자들은 최적설계의 의미를 제대로 이해하지 못하고 최적설계법에 익숙하지 못하기 때문에 최적설계법은 생소한 분야로 인식되고 있고 그 이용 및 활용이 아직은 저조한 편이다. 특히 농업구조물의 최적설계안 선정에 최적설계법을 적용한 예는 거의 없다. 최종적으로 얻어지는 최적설계값의 합리성, 신뢰성, 적용 가능성을 높이려면 최적화 문제를 합리적으로 정확하게 정식화하여야 한다. 따라서 농업구조물의 설계에 최적설계기법을 도입하려면 설계대상 농업구조물의 설치 위치, 설치 목적, 규모, 주변 환경, 구조물의 재료, 지방서의 조건 등 농업구조물이 가지고 있는 고유의 특성을 세밀히 분석하여 이들 조건이 합리적으로 고려되도록 최적화 문제를 형성하여야 한다.

농업구조물은 비교적 규모가 작고 위험도도 낮은 특징을 가지고 있기 때문에 이들 구조물을 설계할 때 정확한 구조해석 결과에 기초하여 설계하지 않고 농지개량사업 표준설계도를 참고로 하여 약식으로 설계하는 것이 관행으로 되어있다. 따라서 현행의 발전된 구조설계기준에 의한 설계가 되지 못하고 과거의 기술과 설계기준에 의한 설계를 답습하고 있는 실정이다.

이와같은 문제점을 모두 해결할 수 있는 방법은 최적설계법을 도입하는 것이다.
 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 2연식 상자형 암거를 대상으로 최적의 설계값을 얻을 수 있는 최적설계 프로그램을 개발하고자 한다.

II. 최적설계 문제의 정식화

1. 설계조건

2연암거를 설치하고자 하는 위치의 지형과 지질 그리고 용수량 및 암거의 형상과 크기에 관련되는 제반 parameter들은 설계자가 미리 결정하여 컴퓨터 프로그램에 입력함으로써 현장 조건에 알맞는 2연암거의 최적설계가 수행되도록 프로그램을 개발하였다.

2. 설계변수

설계변수는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 8개로 구성하였으며 각 설계변수의 구체적인 내용은 다음과 같다.

- X_1 : 측벽의 두께 (Cm)
- X_2 : 저판의 두께 (Cm)
- X_3 : 상판의 두께 (Cm)
- X_4 : 중앙벽의 두께 (Cm)
- X_5 : 암거의 단위 길이당 상판에 배근해야할 주철근 단면적 (Cm^2)
- X_6 : 암거의 단위 길이당 측벽에 배근해야할 주철근 단면적 (Cm^2)
- X_7 : 암거의 단위 길이당 중앙벽에 배근해야할 주철근 단면적 (Cm^2)
- X_8 : 암거의 단위 길이당 저판에 배근해야할 주철근 단면적 (Cm^2)

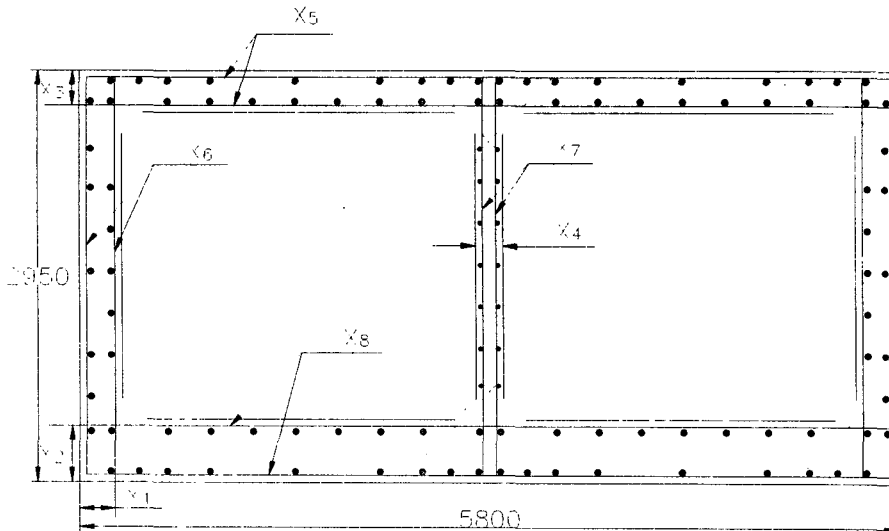


Fig. 1. Design variables of 2 continuous box culvert

3. 목적함수

목적함수는 단위길이(1m)의 2연암거를 설치하는데 소요되는 콘크리트, 철근, 거푸집에 대한 재료비 및 노임을 포함하는 총 건설경비로 잡았으며 식 (1)과 같다.

$$C_{cul} = C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f \quad (1)$$

여기서, C_{cul} : 암거의 단위길이(1m)당 건설경비
 C_c : 콘크리트의 단위체적(m^3)당 경비
 C_s : 철근의 단위체적(m^3)당 경비
 C_f : 거푸집의 단위면적(m^2)당 경비
 V_c : 암거의 단위길이당 콘크리트의 체적
 V_s : 암거의 단위길이당 철근의 체적
 A_f : 암거의 단위길이당 거푸집의 면적

4. 제약조건식

2연암거 단면중 구조적으로 중요한곳 4군데를 각종 단면력의 계산점으로 택하여 이들 계산점에서 각종 제약조건식을 유도하였다.

가. 휨설계

$$G(I) = M_{ui} - \phi_f M_{ni} \leq 0 \quad (2)$$

여기서, M_{ui} : 계산점 i에서 극한휨강도
 M_{ni} : 계산점 i에서 공칭휨강도
 ϕ_f : 강도감소계수
 I : 1~10, 15~24, 29~38

나. 전단설계

$$G(I) = S_{ui} - \phi_v S_{ni} \leq 0 \quad (3)$$

여기서, S_{ui} : 계산점 i에서 극한전단강도
 S_{ni} : 계산점 i에서 공칭전단강도
 ϕ_v : 강도감소계수
 I : 13, 14, 27, 28, 41~50

다. 최소철근비에 대한 제약조건식

$$G(I) = P_{min} - P_i \leq 0 \quad (4)$$

여기서, P_{min} : 최소철근비
 P_i : 계산점 i에서 철근비
 I : 11, 25, 39, 53

라. 최대철근비에 대한 제약조건식

$$G(I) = P_i - P_{max} \leq 0 \quad (5)$$

여기서, P_i : 계산점 i의 철근비
 P_{max} : 최대철근비
 I : 12, 26, 40, 54

마. 축방향강도에 대한 제약조건식

$$G(I) = P_{ui} - \phi_p P_{ni} \leq 0 \quad (6)$$

여기서, P_{ui} : 계산점 i 에서 극한축방향강도

P_{ni} : 계산점 i 에서 공칭축방향강도

ϕ_p : 강도감소계수

I : 51, 55

바. 벽체의 최소철근비에 대한 제약조건식

콘크리트 구조설계기준의 규정에 의하여 벽체의 최소철근비에 대한 제약조건식을 다음과 같이 유도하였다.

$$G(I) = P_{\min} - P_i \leq 0 \quad (7)$$

여기서, P_{\min} : 최소철근비

P_i : 계산점 i 에서 철근비

I : 52, 56

III. 컴퓨터 프로그램 개발

DOT(Design Optimization Tools)는 비선형의 제약조건을 갖는 최적화 문제나 제약조건을 갖지 않는 최적화 문제를 푸는데 사용되는 프로그램으로서 사용자가 풀고자하는 최적화 문제에 대한 설계변수의 초기치, 목적함수와 제약조건식의 값을 계산할 수 있는 Code를 제공해주면 최적화를 수행할 수 있는 프로그램이다.

앞에서 정식화 된 2연암거의 목적함수와 제약조건식에 대한 Computer Program을 개발하여 DOT 또는 VisualDOC과 연결하여 이들의 최적설계 값을 구할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램은 설계하고자 하는 2연암거의 규모, 현장의 조건, 설계하중 및 각종 상수 등과 같은 설계조건만 입력되면 이들 설계조건을 모두 만족하면서 가장 경제적인 설계치가 자동적으로 구해지도록 구성되어 있다.

IV. 최적설계 결과

본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 2연암거의 규모와 형상을 결정짓는 parameter값을 바꾸어가면서 최적설계를 수행하였다.

그 중의 한 예로서 2연암거의 한쪽 내폭이 2.5m이고, 내고가 2.2m 인 경우에 대한 최적설계 결과를 제시해 보면 Table. 1과 같다.

Table. 1에서 보면 함수 계산횟수는 MMFD, SLP, SQP기법이 각각 182, 217, 165회로서 CPU time의 측면에서는 SQP, MMFD, SLP기법 순으로 효율적인 것으로 나타났다.

MMFD, SLP, SQP 의 3가지 기법에서 반복횟수에 따른 목적함수의 수렴특성은 Fig. 2와 같이 각각 8회, 15회, 13회로 MMFD법이 가장 빠르게 수렴하는 것으로 나타났으며, SQP는 진동(Oscillation)없이 잘 수렴하는 것으로 나타났다.

Table. 1. The results of optimum design of 2 continuous box culvert

Des. Var.	Dim	X _L	Initial Value	X _U	Optimum Design Variables			Remarks
					MMFD	SLP	SQP	
X ₁	Cm	15.0	30.0	500.0	28.4067	28.3997	28.5021	
X ₂	Cm	15.0	30.0	500.0	44.3468	45.0295	45.6555	
X ₃	Cm	15.0	30.0	500.0	28.6342	28.8808	28.4650	
X ₄	Cm	15.0	20.0	500.0	15.0000	15.0002	15.0002	
X ₅	Cm ²	0.0	13.0	500.0	17.5955	17.4301	14.7304	
X ₆	Cm ²	0.0	11.0	500.0	13.3150	12.3119	14.0475	
X ₇	Cm ²	0.0	6.0	500.0	6.26884	6.24123	6.27565	
X ₈	Cm ²	0.0	15.0	500.0	17.9092	20.3813	18.0996	
Obj. Func.	Won				8.79629×10^5	8.83212×10^5	8.84515×10^5	
No. of Iteration					10	23	15	
No. of Function Evaluation					182	217	165	

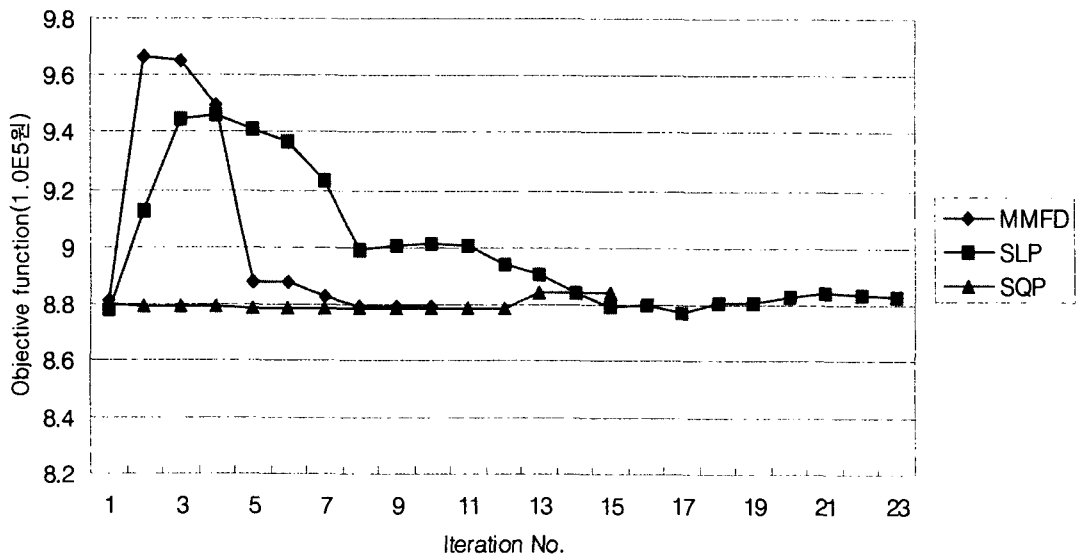


Fig. 2. Convergence history of objective function

V. 결과 분석 및 고찰

본 연구에서 개발된 프로그램에 적용된 3가지 최적화기법(MMFD, SLP, SQP)으로 구한 최적설계값 사이의 차이는 아주 미미하였고, 설계변수의 초기값을 다르게 하여 최적설계값을 구해 본 결과 거의 같은 값으로 수렴하였다. 또한 본 연구에서 수행된 최적설계의 결과값에 대하여 구조해석을 수행해 본 결과 구조공학적으로 안전하였고, 구조설계기준 및 표준시방서의 설계기준을 모두 만족하였으며 수로구조물 호형도와 비교해 보아도 문제가 없는 것으로 판명되었다. 따라서 본 컴퓨터프로그램은 실제 2연암거의 설계에 적용 가능한 것으로 판단된다.

VI. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 2연암거의 최적설계를 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 개발되었다.
2. 본 연구에서 개발된 최적설계프로그램을 이용하면 2연암거에 대한 신뢰성이 있는 최적설계값을 구할 수 있는 것으로 판단되었다.
3. 최적설계프로그램으로 구한 최적설계값은 실제 설계에 적용 가능한 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Vanderplaats. "Dot Users Manual", VMA Engineering, 1999.
2. Vanderplaats. "Doc Users Manual", VMA Engineering, 1995.
3. Haftka, R. T. , Gurdal, A. and Kamat, M.T., Elements of Structural Optimization, Kluwer Academic Publishers, 1990.
4. Vanderplaats, G. N., Numerical Optimization Techniques for Engineering Design : with Application, McGraw-Hill, 1998.
5. Vanderplaats, G. N., Thirty Years of Modern Structural Optimization, Advances in Engineering, Software, 16, 1993, pp. 81-88.
6. 김종옥, 농업구조물의 최적설계안 선정·안전진단 및 개보수를 위한 시스템 개발, 농림부, 2000, pp. 65-110.
7. 김종옥, 단순강관형 단면의 최적설계를 위한 효율적인 비선형계획기법, 한국농공학회지 Vol.36, No.2, 1994, 6, pp.111-122.