혼합이산형최적화기법을 이용한 뒷부벽식 옹벽의 최적설계

Optimum Design of Counterforted Wall Using Mixed Discrete Optimization Method

이 서 영* · 김 종 옥 (공주대)
Lee, Seo Young · Kim, Jong Ok

Abstract

The optimum design problems for the design of counterforted wall were formulated and computer programing to solve these problems were developed in this study.

Both discrete optimization and continuous optimization method were applied to the design of counterforted wall and the results of these optimization methods were compared each other.

Ⅰ. 서 론

최적설계는 60년대와 70년대에 이론적인 발전을 거쳐 80년대에는 컴퓨터의 고성능화와 개인 PC의 급속한 보급으로 인하여 급진적인 발전을 이루어 이제는 최적설계법이 실제 구조물의 설계에 이용될 수 있도록 성숙되었다고 말할 수 있게 되었다. 그러나, 토목분야의 대표적인 구조물인 철근콘크리트 구조물에 대한 연구는 상대적으로 미진한 실정인바 이제는 토목구조물의 설계에도 최적설계법이 도입되어야 한다.

토목구조물은 대부분 철근콘크리트 구조물로 이루어져 있는데 철근콘크리트 구조물은 철근과 콘크리트의 두 가지 재료가 혼합되어있다는 특징을 갖고있다. 그 중 철근은 표준화된 규격으로 생산된 공장제품을 써야만 하기 때문에 철근콘크리트 구조물의 설계가 보다 합리적이고 효율적이기 위해서는 콘크리트의 단면치수는 연속형 설계변수로 철근의 단면적은 이산형 설계변수로 하여 혼합이산형 최적설계법으로 최적설계를 수행하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 철근콘크리트의 위와 같은 특성을 고려해서 농업토목구조물인 뒷부벽식옹벽에 혼합이산형 최적설계법을 적용하여 최적설계값을 구하고 이들의 합리성, 효율성, 신뢰성 등을 비교·검토함으로써 실용적인 철근콘크리트 구조물의 최적설계방안을 제시하고자 한다.

2001년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2001년 10월 12일)

Ⅱ. 최적설계 문제의 정식화

가. 뒷부벽식 옹벽의 최적설계문제

뒷부벽식 옹벽의 최적설계 문제는 옹벽의 높이, 부벽의 간격, 철근 덮개 등은 설계자가 미리 결정하여 입력하도록 하였다. 또한, 콘크리트의 단위중량, 콘크리트 설계강도, 철근의 항복강도, 설계하중 등에 대한 값도 파라메터값으로 입력하도록 하여 본 연구에서 개발된 프로그램의 사용성을 넓혔다.

나. 설계변수

철근콘크리트 구조물의 특성을 고려하여 콘크리트의 단면적은 연속형 변수 (X_1~X_6)로 철근의 단면적은 이산형 변수 (X_7~X_{10})로 적용하였으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

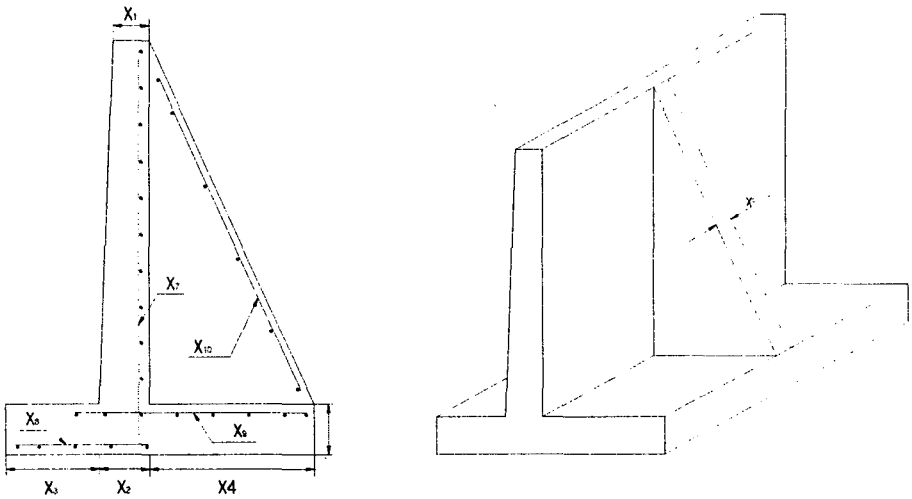


Fig 1. Design variables of counterforted wall

X_1 : 벽체 상단의 두께 (cm)

X_2 : 벽체 하단의 두께 (cm)

X_3 : 앞굽의 길이 (cm)

X_4 : 뒷굽의 길이 (cm)

X_5 : 앞굽, 뒷굽의 최소두께 (cm)

X_6 : 부벽의 두께 (cm)

X_7 : 벽체의 폭1m당 주철근 단면적 (cm^2)

X_8 : 앞굽의 폭1m당 주철근 단면적 (cm^2)

X_9 : 뒷굽의 폭1m당 주철근 단면적 (cm^2)

X_{10} : 부벽의 주철근 단면적 (cm^2)

다. 목적함수

목적함수는 뒷부벽식 옹벽을 건설하는데 소요되는 콘크리트, 철근, 거푸집에 대한 경비를 고려한 총 건설경비로 잡았으며 식 (1)과 같다.

$$C_w = C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f \quad (1)$$

여기서, C_w : 옹벽의 폭1m당 건설경비

C_c : 콘크리트의 단위체적당 경비

C_s : 철근의 단위체적당 경비

C_f : 거푸집의 단위면적당 경비

V_c : 옹벽 폭1m당 콘크리트의 체적

V_s : 옹벽 폭1m당 철근의 체적

A_f : 옹벽 폭1m당 거푸집의 면적

라. 제약조건

제약조건은 시방서의 기준에 의하여 다음과 같이 유도하였다.

1) 전도에 대한 안정을 위한 제약조건식

$$G(1) = S_o - \frac{M_r}{M_o} \leq 0 \quad (2)$$

여기서, S_o : 전도에 대한 안전율

M_r : 옹벽 및 흙의 자중에 의한 저항모멘트

M_o : 토압 및 상재하중에 의한 전도 모멘트

2) 활동에 대한 안정을 위한 제약조건식

$$G(2) = S_s - \frac{\mu \sum W_i}{P_h} \leq 0 \quad (3)$$

여기서, S_s : 전도에 대한 안전율

μ : 마찰각

$\sum W_i$: 연직력의 합계

P_h : 수평력의 합계

3) 외력의 합력 R의 작용선이 기초저판 폭의 중앙 1/3내에 있기 위한 제약 조건식

$$G(3) = e - \frac{B}{6} \leq 0 \quad (4)$$

여기서, $e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_r - M_o}{\sum W_i}$

B : 옹벽저판의 폭

$\sum M_r$: 옹벽 및 흙의 자중에 의한 저항모멘트의 합

M_0 : 토압 및 상재하중에 의한 전도모멘트

4) 지반의 지지력에 대한 안정을 위한 제약조건식

$$G(4) = q - q_a \leq 0 \qquad (5)$$

여기서, $q = \frac{\sum W_i}{BL}(1 \pm \frac{6e}{B})$

q_a : 기초지반의 허용지지력

B : 옹벽저판의 폭

5) 옹벽 각 단면의 설계를 위한 제약조건식

벽체는 벽체와 저판의 접합부를 고정지점으로 하는 캔틸레버로 보고 설계하였고, 뒷굽판은 기초 저판과 벽체의 접합부를 고정지점으로 하는 캔틸레버로 보아 제약조건식을 유도하였다. 앞굽판도 벽체와 저판의 접합부를 고정지점으로 하는 캔틸레버로 보고 설계하였다. 부벽은 벽체를 플랜지로 뒷부벽을 복부로 하는 T형보로 보고 설계하였다.

가) 휨설계

$$G(I) = M_{uj} - \Phi_f M_{nj} \leq 0 \qquad (6)$$

여기서, I : 5, 9, 12, 15

M_{uj} : 각 단면의 극한 휨강도

Φ_f : 휨부재에 대한 강도감소계수

M_{nj} : 각 단면의 공칭 휨강도

나) 전단설계

$$G(I) = S_{uj} - \Phi_s S_{nj} \leq 0 \qquad (7)$$

여기서, I : 6, 10, 13, 16

S_{uj} : 각 단면의 극한 전단강도

Φ_s : 전단력의 받는 부재에 대한 강도감소계수

S_{nj} : 각 단면의 공칭 전단강도

다) 철근비에 대한 제약조건식

$$G(I) = P_{jmin} - X_k \leq 0 \qquad (8)$$

여기서, I : 7, 11, 14, 17

k : 8, 9, 10

P_{jmin} : 각 단면의 단위 폭당 최소 철근량

$$G(8) = X_7 - P_{fmax} \leq 0$$

여기서, P_{fmax} : 벽체의 단위 폭당 최대 철근량

Ⅲ. 최적설계 결과

이산형 최적설계기법의 신뢰성, 효율성, 합리성을 비교하기 위해, 초기치를 Case(1~3)로, 최적화기법은 수정유용방향법(MMFD), 순차선형계획법(SLP), 순차2차계획법(SQP), 분기한계법

(BBM)을 사용하였다. 예로서, 높이8m, 부벽간격3.5m, 허용지지력3.0t/㎡, f_{ck}=280kg/㎠, f_y=3000 kg/㎠인 경우에 대한 최적설계 결과를 제시해 보면 다음과 같다.

Table 1. Starting Points

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
case 1	35.0	50.0	50.0	300.0	50.0	35.0	20.0	40.0	45.0	25.0
case 2	30.0	45.0	40.0	200.0	40.0	30.0	22.0	35.0	40.0	22.0
case 3	28.0	41.0	43.0	250.0	45.0	33.0	21.0	32.0	39.0	25.0

Table 2. Optimum Design Result of **MMFD**

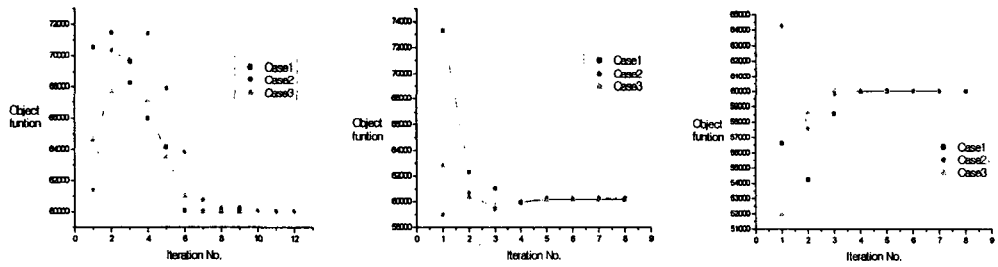
Design variable			Optimum value of Design variable					
			Continuous optimization method			Mixed Discrete optimization method		
Var.	Dim.	Type	case1	case2	case3	case1	case2	case3
X_1	cm	con.	20.000	20.000	20.002	20.000	20.000	20.002
X_2	cm	con.	24.725	24.696	24.697	24.725	24.696	24.697
X_3	cm	con.	54.629	54.577	54.632	54.629	54.577	54.632
X_4	cm	con.	336.87	336.98	336.89	336.87	336.98	336.89
X_5	cm	con.	98.134	98.162	98.140	98.134	98.162	98.140
X_6	cm	con.	38.264	38.251	38.276	38.264	38.251	38.276
X_7	㎠	dis.	20.921	21.997	20.957	22.92	22.92	22.92
X_8	㎠	dis.	46.551	43.009	42.999	44.97	44.97	44.97
X_9	㎠	dis.	48.471	48.487	48.474	50.67	50.67	50.67
X_{10}	㎠	dis.	25.216	25.214	25.219	25.34	25.34	25.34
Object function (₩)			60023	60029	60020	60037	60040	60035
No. of function evaluation			128	169	137	618	648	577

Table 3. Optimum Design Result of **SLP**

Design variable			Optimum value of Design variable					
			Continuous optimization method			Mixed Discrete optimization method		
Var.	Dim.	Type	case1	case2	case3	case1	case2	case3
X_1	cm	con.	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
X_2	cm	con.	24.723	24.693	24.743	25.244	25.245	25.444
X_3	cm	con.	54.877	54.833	55.121	54.342	54.690	54.561
X_4	cm	con.	337.25	337.53	337.00	336.58	336.54	336.54
X_5	cm	con.	98.369	98.572	98.239	98.057	98.042	98.047
X_6	cm	con.	38.335	38.431	38.405	38.198	38.211	38.202
X_7	㎠	dis.	21.052	21.094	20.995	20.27	20.27	20.27
X_8	㎠	dis.	43.190	48.021	45.026	44.97	47.83	44.97
X_9	㎠	dis.	48.537	48.656	48.499	50.67	50.67	50.67
X_{10}	㎠	dis.	25.279	25.318	25.289	25.34	25.34	25.34
Object function (₩)			60183	60297	60162	60123	60147	60135
No. of function evaluation			79	79	79	692	619	624

Table 4. Optimum Design Result of **SQP**

Design variable			Optimum value of Design variable					
			Continuous optimization method			Mixed Discrete optimization method		
Var.	Dim.	Type	case1	case2	case3	case1	case2	case3
X_1	cm	con.	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
X_2	cm	con.	24.708	24.700	24.696	24.708	24.700	24.696
X_3	cm	con.	54.639	54.549	54.635	54.639	54.549	54.635
X_4	cm	con.	336.90	337.01	336.89	336.90	337.01	336.89
X_5	cm	con.	98.147	98.219	98.167	98.147	98.219	98.167
X_6	cm	con.	38.274	38.269	38.274	38.274	38.269	38.274
X_7	cm^2	dis.	20.919	20.920	20.957	22.92	22.92	22.92
X_8	cm^2	dis.	43.542	48.556	46.410	44.97	47.83	44.97
X_9	cm^2	dis.	48.474	48.464	48.493	50.67	50.67	50.67
X_{10}	cm^2	dis.	25.218	25.211	25.216	25.34	25.34	25.34
Object function (₩)			60027	60052	6028	60042	60067	60042
No. of function evaluation			89	75	59	556	564	546



< MMFD > < SLP > < SQP >

Fig. 2. Design objective convergence history

Ⅳ. 결과 분석 및 고찰

최적설계 결과값을 신뢰성, 효율성, 합리성 면에서 비교, 분석하였다.

1. 전역적 최적치의 신뢰성 : 최적설계값은 여러 초기치를 가지고 최적설계값을 구해본 결과 거의 동일한 값으로 수렴하였으므로 신뢰성이 있다.
2. 효율성 : 출발점이 서로 다르더라도 목적함수값이 MMFD, SLP, SQP Method에서 모두 10회 반복횟수 안에 일정한 값에 수렴하므로 알고리즘은 효율성이 높다고 할 수 있다.
3. 합리성 : 혼합이산형최적화기법을 사용한 최적해는 실무에서 사용될 수 있는 유용해를 가지므로 합리적이라고 할 수 있다.

V. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다

1. 시방서상의 적용가능한 제반사항을 제약조건식으로 표현하고 설계변수를 실제적인 이산형변수로 고려하므로서 합리적인 설계값을 얻을 수 있었다.
2. 연속형 설계변수를 사용하였을 경우 실제 사용시에는 반올림해서 사용해야하는데 이런 경우 최적설계값이 무용해가 될 수 있는데 이산형설계변수를 사용하면 최적설계값이 표준화된 치수와 일치하기 때문에 아무런 변경없이 직접 사용할 수 있다.
3. 따라서, 철근콘크리트구조물의 최적설계는 연속형변수와 이산형변수를 혼합하여 사용하는 것이 더 합리적인 방법이라고 판단된다.

참고문헌

1. Kim J.O (1995), Optimum Design of Cantilever Retaining Wall, Journal of KSAE, Vol.37 No. 1, pp. 90 - 99.
2. DOT User's Manual (1999), VMA Engineering, Colorado Springs.
3. VisualDOC User's Manual (1998), VMA Engineering, Colorado Springs.
4. Vanderplaats G. N. (1999), Numerical Optimization, Techniques for Engineering Design McGRAW-HILL, Colorado Springs.
5. Shui-Shun Lin, Chun AZhang and Hsupin Wang, (1995), On mixed-discrete nonliear Optimization problems : A comparative study, Engineering, Optimization, 23:287-330
6. Sepulveda A. E., (1995), Optimal Material Selection Using Branch and Bound Techniques, AIAA Journal 33(2):340-347
7. 金守萬, 朴榮基 (1998), 토목구조설계, 淸文閣