

프리플렉스교의 전산화 최적설계 Computer-Aided Optimization of Preflex Bridges

조효남* 이웅세** 박정배***
Cho, Hyo-Nam Lee, Ung-Se Park, Jung-Bae

ABSTRACT

Preflex composite girder is intended for a better use on both steel and concrete by introducing prestress into the lower flange concrete with preflexion. In Korea, recently preflex bridges are widely used especially for urban construction but the design method depends on the conventional ASD(Allowable Stress Design). This paper suggests an optimization model for the design of preflex composite bridges based on LRFD(Load Resistance Factor Design). The optimization algorithm adopted for the NLP model proposed in the paper is the FTM(Flexible Tolerance Method) which is very efficient for the approximate continuous optimization. For the discrete optimum results, a pseudo discrete optimization is used for the economical round-up to the available dimensions. The economic effectiveness of optimum design based on the LRFD method is investigated by comparing the results with those of the ASD method.

Based on applications to the actual design examples, it may be concluded that the optimization model suggested in the paper provides economical but reliable design. And the suggested in the paper provides economical but reliable design. And the computer code for the automatic optimum design of preflex bridges developed in the paper for a CAD system may be successfully used in practice.

1. 서론

구조물에서 구조해석 절차는 하중으로 구조물의 응력과 변형을 알아내고 이 응력과 변형에 대하여 부재단면의 안전도를 검토하므로써 주어진 하중에 대해 안전하고 경제적인 단면이 결정될 수 있도록 하는 것이 일반적인 절차이다. 그러나, 구조체를 형성하는 철근콘크리트 구조, 강구조 및 합성구조는 각각 역학적 성질이 상이하여 그 응력이나 변형상태를 구조역학의 이론이 고도로 발전된 오늘날 까지도 실험적 연구를 통하여 구조체의 역학적 거동과 이에 따른 성질을 지속적으로 밝혀내고 있으며 금후도 합리적인 설계요소의 도출과 설계방법 개선을 위한 여세를 보이고 있다.

구조물의 설계방법에 있어서 우리나라에서는 1964년 처음으로 허용응력설계법(Allowable Stress Design Method : ASD)을 기초로 시방서를 만들어 모든 구조설계에 적용하여 왔으나 불합리한 점이 많고 사용하중하에서 파괴에 대하여 매우 안전측의 설계가 되므로 1969년 부터는 발생가능한 모든 사용하중을 확률적으로 처리하여 재료의 항복강도로 설계하므로 파괴에 대한 안전도가 확실한 강도설계법(Ultimate Strength Design Method : USD)을 병행 사용하였으며 1978년 부터는 철근콘크리트 부재설계에 대하여 ASD 보다는 USD의 사용을 권장하고 있다. 그러나, 우리나라 도로교 시방서의 개정이 이를 뒤따르지 못한 관계로 USD의 사용확대는 지연되었고 1989년 부터 시방서의 개정으로 구조물 설계에 USD의 적용이 의무화 되었다. 한편, 선진외국에서는 ASD에 의한 구조물 설계는 곧 사라질 전망이며 대부분의 국가가 오래전 부터 USD와 LSD(Limit State Design)를 정착시켜 사용하고 있는 실정인데 반해 우리나라는 선진국에 비하여 신이론의 도입이 뒤떨어짐으로서 설계기술의 발전이 침체되었던 것을 인정하지 않을 수 없다.

앞으로 구조물설계는 과거 부재의 강도확보에만 주력하던 방법에서 탈피하여 강도 이외의 부재 및 구조의 사용성(Serviceability), 내구성(Durability), 연성(Ductility) 확보에 중요한 인식을 갖고 첨단설계 장비 및 S/W의 개발과 함께 현대적인 구조설계기술 발전에 보다 더 큰 관심을 기울여야 할 것이다.

이러한 관점에서 우리나라에서도 AISC에서 채택한 새로운 설계법인 하중과 구조저항 관련 모든 불확실성을 확률통계적으로 처리하는 구조신뢰성이론에 기초한 하중저항계수 설계법(Load and

* 정회원 한양대학교 토목공학과 교 수
** 서영기술단 이 사
*** 한양대학교 토목공학과 석 사

Resistance Factor Design : LRFD) 이론을 도입하여 과학적이고 합리적이며 경제적인 최적 구조기술의 보급과 관련 제 규정의 정립을 시급히 추진하여야 할 것이다.

또한, 구조최적화는 지난 30여년 동안 축적된 연구결과에 의한 개발과 경험으로 인해 강력한 CAD 설계 도구로서 실제적인 적용을 통해 현대적인 구조기술 발전에 크게 기여해 왔다. 오늘날 대부분의 최적화 전문가들은 작은 규모의 요소설계에 대한 단순한 Black-Box 프로그램의 사용이나 대규모의 시스템 구조 최적화 문제에 대한 CAD 시스템의 사용에 의해서 실제적인 거의 모든 구조설계 문제들이 최적화 될 수 있다는데 동감하고 있다. 그러나 이런 뛰어난 최적화 소프트웨어의 효율성에도 불구하고 토목설계 사무소의 구조기술자들은 컴퓨터를 이용한 최적설계 소프트웨어의 효율성과 실제적인 적용에 거의 관심을 갖고 있지 않다. 이것은 효율적인 최적설계 소프트웨어가 아직도 설계 실무에서 제대로 보급되어 있지 않다는 것을 의미하기도 한다. 이러한 현상에 대한 주요 원인 중의 하나는 설계 사무실에서 필요로 하는 최적화 소프트웨어가 많지 않다는 것이다.

따라서 본 논문에서는 교량 구조물로 1985년에 국내에 처음으로 도입되어 80년대 후반부터 점차 확대 사용되고 있는 프리플렉스교 설계에 LRFD 이론을 도입하여 모든 '설계조건 및 거동조건을 만족하는 상세설계를 수행하기 위한 최적화 자동설계기법 개발에 관해서 연구하고 합리적이고 경제적이면서 수리적 관점에서 프리플렉스교의 최적설계는 자연스럽게 최소시간 및 경비의 투자로 설계를 수행할 수 있으며 그 효과는 건설경비의 절감효과가 큰것으로 나타나는 것이 분명하기 때문에 실용적인 측면과 시대적인 요구로 볼때 본 최적화 자동설계기법 개발은 적절하다고 판단된다.

또한, 본 논문에서는 과거 1988년 대한토목학회에서 제정 발표했던 프리플렉스 합성형 표준도 및 시방서의 문제점과 개선방안을 파악함과 동시에 모든 설계과정을 최적화 자동화설계로 처리할 수 있는 실제적 최적화 모델을 개발하여 제안하는 것이며 본 시스템의 효율성과 공용성에 대해서도 검증한다. 또한, 프리플렉스교에 대한 예제 해석을 통하여 종래설계방법과 비교 분석함으로써 어느 정도의 경제성을 확보하고 있으며 실용화 측면에서의 효과등을 고찰한다.

2. 프리플렉스교의 설계이론

프리플렉스교는 1949~1954년 사이에 벨기에의 립스키(Lipski)와 브리셀대학의 바아스(Baes) 교수가 공동으로 그 설계법을 확립하여 오늘날 전세계에 보급되었으며 우리나라에도 1985년 신기술 도입차원에서 보급되어 주로 도로 및 철도교 구조물로 활용되고 있는 합성형교이다.

프리플렉스교의 기본개념은 강형(Steel Girder)의 인장 플랜지를 둘러싼 케이싱 콘크리트에 미리 압축 프리스트레스를 도입하여 하부 플랜지의 강성을 증대시키려는 것이다. 한편, 프리플렉스교의 특징으로는 주형의 강성이 크므로 형고를 낮게 할 수 있고 처짐도 작으며 활하중에 의한 진폭이 작고 피로강도가 큰 장점이 있다. 특히 강판형(Steel Plate Girder)에 비하여 유지관리비가 저렴하고 소음과 진동이 작으며 내구성 및 내화성이 크며 제품화가 가능하여 공기를 단축할 수 있는 장점을 가지고 있다.

프리플렉스교는 제작 및 시공에 있어서 여러단계를 거치게 되므로 복잡한 재하상태 및 응력상태를 나타낸다. 따라서, 설계 및 시공에 있어서 그 특성을 정확하게 이해하여야 하며 제작 및 시공순서는 다음 표 1과 같다.

3. 프리플렉스교 최적화 문제의 정식화

3.1 문제의 정식화

프리플렉스교에 대한 일반적인 최적화 문제의 정식화는 다음과 같은 비선형 계획문제로 나타낼 수가 있다.

$$\text{Minimize } F(\{X\}) \quad (1a)$$

$$\text{subject to } g_j(\{x\}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (1b)$$

$$X_i^l \leq X_i \leq X_i^u \quad i = 1, \dots, n \quad (1c)$$

여기서 $F(\{X\})$ = 비용함수

$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ = 설계변수

$g_j(\{X\})$ = i 번째 설계 또는 거동제약조건

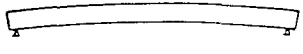

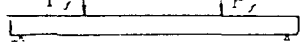

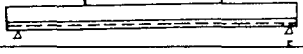

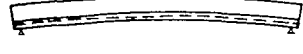

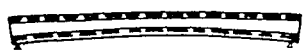

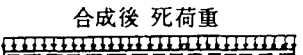



X_i^l, X_i^u = 설계변수의 상하한치

3.2 설계변수

프리플렉스교 최적화 문제의 설계변수로는 상세구조의 공비와 안전도에 영향을 끼치는 설계치들로 구성된다. 따라서 본 논문에서 고려하는 프리플렉스교에 대한 설계변수들은 콘크리트 상부 플랜지두께, 콘크리트 하부 플랜지두께, 강형 북부높이, 강형 북부두께, 강형 플랜지두께 등을 선택하였으며 모든 변수들을 연속변수로 간주하여 최적해를 구한다. 또한, 본 논문에서는 모든 변수들을 연속변수로 간주하여 최적해를 얻은 후 설계변수들에 대해 표준상용치로 선택가능한 단면을 선

택하도록 한다.

표 1 프리플렉스교의 제작 및 시공순서

순서	개요	재하상태	저항단면
(1) 강형제작완성	·소정의 제작수율을 불인 상태 ·강형이 제작완료된 상태		
(2) 프리플렉션	·강형의 2점에 집중하중 재하(프리플렉션)을 가함 ·올플랜지 상태는 인장축, 상부 올플랜지가 압축	프리플렉션荷重 	
(3) 하부플랜지 콘크리트 시공	·프리플렉션 상태에서 하부플랜지 케이싱 콘크리트 타설		
(4) 릴리스	·케이싱 콘크리트 양생후 프리플렉션 제거 ·케이싱 콘크리트에 압축 프리스트레스 도입 상태 ·프리플렉스교의 기본부재	릴리스 	
(5) 프리플렉스형의 가설 및 현장 콘크리트의 시공	·프리플렉스교의 가설 슬래브, 복부 가로보 콘크리트 타설 ·케이싱 콘크리트의 초기 크리프 및 건조수축 영향계산		
(6) 프리플렉스 합성형의 완성	·프리플렉스교의 완성 ·합성후 사하중의 재하 (포장, 난간 등)	合成後 死荷重 	
(7) 프리플렉스 합성형의 이용	·활하중 재하 ·최종단면 검토	活荷重 	

3.3 비용합수

토목분야의 최적화에 대한 문제정식화 과정에서 가장 중요한 단계 중의 하나는 단위비용과 설계 변수의 함수로 유도된 비용함수로된 목적함수의 모델링이라고 할 수 있다. 그러나 설계변수의 함수로 표현되는 비용함수는 정확히 표현하기가 매우 어려운 조립과 제작단계에 포함되는 비용에 민감한 요소들에 의존하기 때문에 비용함수의 정확한 추정 은 간단한 문제로 되지 않는다. 본 논문에서의 프리플렉스교의 비용함수는 콘크리트 및 강판비용, 인건비 및 제작비를 포함하는 자료에 기초를 두고 통계적으로 추정하였다. 본 논문에서 설정한 비용함수는 다음과 같다.

$$F(\cdot) = F(bc_{uw}, bcdw, hcw, tcw, tcuf, tcdf, hsw, tsf, tsw) \\ = C_c [bc_{uw} \cdot tcuf + hcw \cdot tcw + tcdf \cdot bcdw - \{(\sum b_{sf}) \cdot tsf + hsw \cdot tsw\}] \\ + C_s [(\sum b_{sf}) \cdot tsf + hsw \cdot tsw] \quad (2)$$

여기서 bc_{uw} : 콘크리트 상부플랜지 폭, $bcdw$: 콘크리트 하부플랜지 폭
 hcw : 콘크리트 복부 높이, tcw : 콘크리트 복부 두께
 $tcuf$: 콘크리트 상부플랜지 두께, $tcdf$: 콘크리트 하부플랜지 두께
 hsw : 강형 복부 높이, tsf : 강형 플랜지 두께
 tsw : 강형 복부 두께
 C_c : 콘크리트 제작 단위비용, C_s : 강형 제작 단위비용

3.4 제약조건

LRFD 설계법에 의한 프리플렉스교의 최적설계에 대한 제약조건은 설계변수의 비선형 함수로 표시되며 LRFD 규준에 대한 제약조건은 시방서에 규정되어 있는 강도감소계수 ϕ 와 하중계수 γ 를 사용하여 설계강도와 극한하중의 항으로서 힘, 전단강도 및 설계 한계치들에 대하여 정식화 하였다. 마찬가지로, ASD 설계법에 의한 프리플렉스교의 최적설계에 대한 제약조건은 설계변수의 비선형 함수로 표시되며 시방서에 규정되어 있는 힘, 전단 및 설계한계치들에 대하여 정식화 하였으며, 본

논문에서 정식화한 제약조건식은 다음과 같다.

1) LRFD에 의한 제약조건

(1) 휨강도 제약조건

$$g_1 = M_u - \phi M_n \leq 0 \quad (3)$$

여기서 M_u = 극한 모멘트 = $\gamma_D M_D + \gamma_L M_L$.

γ_D = 사하중에 대한 하중계수 = 1.3

γ_L = 활하중에 대한 하중계수 = 2.15

M_n = 시방서에 규정된 공칭모멘트, ϕ = 저항계수 = 0.85

(2) 전단강도 제약조건

$$g_2 = V_u - \phi V_n \leq 0 \quad (4)$$

여기서 V_u = 극한 전단력 = $\gamma_D V_D + \gamma_L V_L$

V_n = 공칭전단력, ϕ = 0.75

(3) 강형 좌굴제약조건

$$g_3 = L_e/R - \lambda \leq 0 \quad (5)$$

여기서 L_e = 강형 유효높이

R = 회전반경 = $\sqrt{A/I}$

λ = 시방서에 규정된 좌굴한계치 = 14

(4) 설계제약조건

$$g_4 = (t_{cuf})_{min} - t_{cuf} \leq 0 \quad (6)$$

$$g_5 = (t_{cdf})_{min} - t_{cdf} \leq 0 \quad (7)$$

$$g_6 = (h_{sw})_{min} - h_{sw} \leq 0 \quad (8)$$

$$g_7 = h_{sw} - (h_{sw})_{max} \leq 0 \quad (9)$$

$$g_8 = t_{ew} - (t_{ew})_{min} \leq 0 \quad (10)$$

$$g_9 = (b_{sf})_{min} - b_{sf} \leq 0 \quad (11)$$

$$g_{10} = h_{sw} - h_{scw} \leq 0 \quad (12)$$

2) ASD에 의한 제약조건

(1) 응력 제약조건

$$g_1 = \sigma_c - \sigma_{ca} \leq 0 \quad (13)$$

여기서 σ_c = 콘크리트 응력

σ_{ca} = 콘크리트 허용응력

$$g_2 = \sigma_s - \sigma_{sa} \leq 0 \quad (14)$$

여기서 σ_s = 강재 응력

σ_{sa} = 강재 허용응력

(2) 전단응력 제약조건

$$g_3 = \tau_c - \tau_{ca} \leq 0 \quad (15)$$

여기서 τ_c = 콘크리트 전단응력

τ_{ca} = 콘크리트 허용전단응력

$$g_4 = \tau_s - \tau_{sa} \leq 0 \quad (16)$$

여기서 τ_s = 강재 응력

τ_{sa} = 강재 허용응력

(3) 강형 좌굴제약조건

$$g_5 = L_e/R - \lambda \leq 0 \quad (17)$$

여기서 L_e = 강형 유효높이

R = 회전반경 = $\sqrt{A/I}$

λ = 시방서에 규정된 좌굴한계치 = 14

(4) 설계제약조건

$$g_6 = (t_{cuf})_{min} - t_{cuf} \leq 0 \quad (18)$$

$$g_7 = (t_{cdf})_{min} - t_{cdf} \leq 0 \quad (19)$$

$$g_8 = (h_{sw})_{min} - h_{sw} \leq 0 \quad (20)$$

$$g_9 = h_{sw} - (h_{sw})_{max} \leq 0 \quad (21)$$

$$g_{10} = t_{ew} - (t_{ew})_{min} \leq 0 \quad (22)$$

$$g_{11} = (b_{sf})_{min} - b_{sf} \leq 0 \quad (23)$$

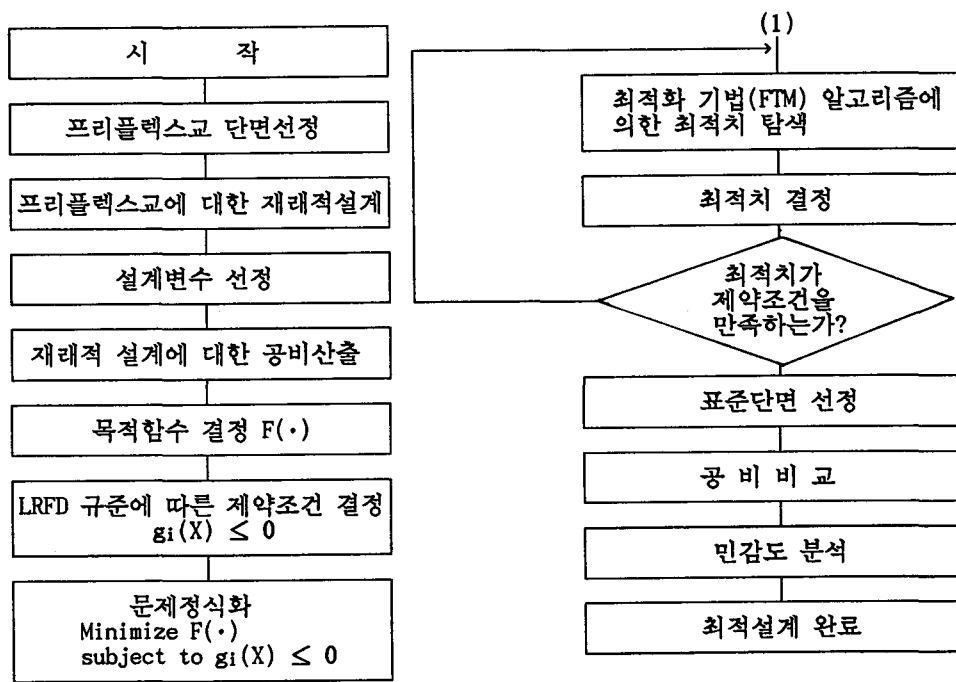
$$g_{12} = h_{sw} - h_{scw} \leq 0 \quad (24)$$

4. 최적화 기법

현재, 사용되고 있는 비선형 수치최적화 알고리즘은 설계자들이 더욱 개선된 알고리즘을 개발하거나 수정할 필요없이 사용가능하며, 특히 PC에 맞도록 개발된 비선형 최적화 프로그램은 비교적 적당한 규모의 문제들 또는 소규모의 시스템 수준에서는 어떤 세련된 근사기법이나 시스템 최적화 기법의 사용없이 직접 효과적으로 사용할 수 있다. 따라서 경험에 의해서 볼 때 접합부 최적화 문제와 같은 근사해를 요구하는 문제에서는 FTM 알고리즘이 매우 효과적이며 대부분의 경우에 있어서 FTM 알고리즘은 이 알고리즘의 특성상 쉽게 근사해에 수렴하게 된다. 일반적으로 대부분의 비선형 수치최적화 방법은 최적화를 수행함에 있어서 엄격한 가능역(feasible region)에 대한 조건 때문에 이를 만족시키는데 쓰이는 계산시간이 상당히 많이 소요된다. 반면에 FTM 알고리즘은 가능점(feasible points)에 의해 주어지는 정보 뿐만 아니라 일종의 비가능점(nonfeasible points)인 근접가능점(nearfeasible points)에서 주어지는 정보도 함께 이용하여 목적함수의 값을 개선시키기 때문에 계산시간이 대폭 줄어든다. 이 근접가능역의 한계는 가능역에 대한 한계를 만족시킬때까지는 문제의 탐색작업이 계속되면서 점진적으로 제한된다. 문제에 대한 이런 기본적인 접근방법에 기초하여 동일한 해를 주는 다음과 같은 간단한 등가적인 문제형태로 대치할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } F(X) & \quad (25) \\ \Phi(k) - T(X) & \geq 0 \quad (26) \end{aligned}$$

여기서 $\Phi(k)$ 는 k번째 탐색단계의 가능성에 대한 FTM 허용기준치의 값이며 $T(X)$ 는 제약조건의 위반 정도를 추정하는 양의 범함수이며, 본 논문에서는 Nelder와 Mead[5]의 탐색기법이 사용되었다. 좀더 상세한 FTM 알고리즘에 대한 설명은 참고문헌을 참고한다. 본 논문에서 적용한 최적화 설계과정은 다음 그림 1의 순서도에 나타내었다.



(1) 그림 1 프리플렉스교 최적화 설계과정 흐름도

5. 설계에 및 민감도 분석

5.1 설계에

앞에서 설명한 최적설계과정은 프리플렉스교에 대한 최소비용설계에 적용되며 본 논문에서 적용한 프리플렉스교는 지간길이가 각각 30m, 35m, 40m, 45m, 50m의 경우이며, 적용 단면의 일반도 및 표준단면을 그림 2와 3에 나타내었다. 재래적 설계방법에 의해 결정된 표준단면 제원은 다음 표 3과 같다.

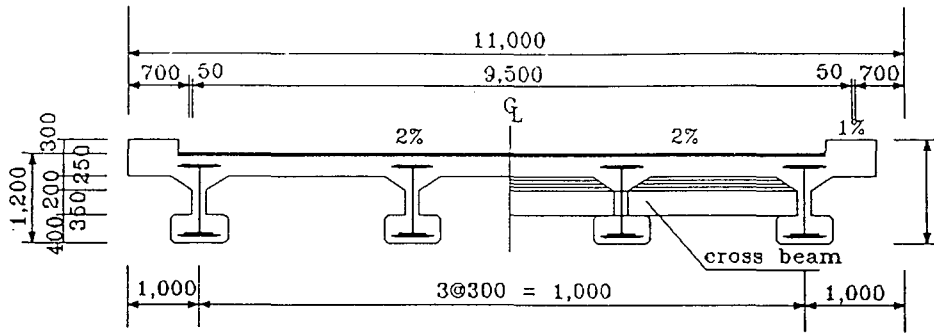


그림 2 프리플렉스교 일반도

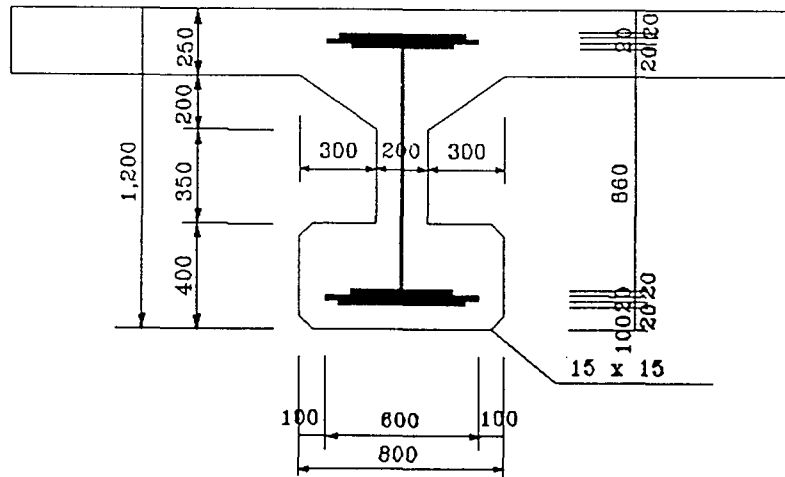


그림 3 프리플렉스교 표준단면

표 3 단면제원(단위 : mm)

구분	제원					
지형간격 (m)	30	35	40	45	50	
간격 (m)	3	3	3	3	3	
콘크리트 두께	상부 플랜지	1,200	1,300	1,500	1,700	1,900
	하부 플랜지	250	250	250	250	250
폭	상부 플랜지	400	400	400	400	400
	하부 플랜지	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
강형	복부	800	850	850	850	850
	상부 플랜지 두께	860	942	1,136	1,318	1,506
하부 플랜지 두께	1	15	15	15	15	15
	2	20	23	24	27	29
	3	300	350	350	350	350
	1	600	650	650	650	650
	2	400	450	450	450	450
	3	20	23	24	27	29
폭	1	300	350	350	350	350
	2	600	650	650	650	650
	3	500	550	550	550	550

5.2 수치최적화 결과

프리플렉스교의 최적화에 적용한 단면형태는 그림 3에 나타난 바와 같다. 재래적 설계방법에 의해 결정된 표준단면 제원으로서 최적설계의 초기치로 사용한다. 표 4와 5에 각각 허용응력 설계법과 하중저항계수 설계법에 근거한 최적설계 수행결과를 비교, 열거하였으며 표 6에 나타난 바와 같이 재래적인 설계법에 의한 공비보다 약 8%~11% 정도의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

표 4 최적설계 단면제원(ASD)

구 분		계 원				
지간거리 (m)		30	35	40	45	50
		3	3	3	3	3
형콘크리트	두께	1,200	1,300	1,500	1,700	1,900
	상부플랜지	240	240	240	240	240
	하부플랜지	390	390	390	390	400
	폭	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
강 형	복부	800	850	850	850	850
	상부플랜지	860	940	1,130	1,316	1,503
	상부플랜지두께	15	15	15	15	15
	하부플랜지	18	22	22	25	27
	하부플랜지두께	300	350	350	350	350
	폭	600	650	650	650	650
	1	400	450	450	450	450
	2	18	22	22	25	27
	3	300	350	350	350	350
	1	600	650	650	650	650
	2	400	450	450	450	450
	3	500	550	550	550	550

표 5 최적설계 단면제원(LRFD)

구 분		계 원				
지간거리 (m)		30	35	40	45	50
		3	3	3	3	3
형콘크리트	두께	1,200	1,300	1,500	1,700	1,900
	상부플랜지	200	200	200	200	200
	하부플랜지	350	350	370	380	400
	폭	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
강 형	복부	800	850	850	850	850
	상부플랜지	860	940	1,130	1,316	1,503
	상부플랜지두께	15	15	15	15	15
	하부플랜지	17	20	22	24	26
	하부플랜지두께	300	350	350	350	350
	폭	600	650	650	650	650
	1	400	450	450	450	450
	2	17	20	22	24	26
	3	300	350	350	350	350
	1	600	650	650	650	650
	2	400	450	450	450	450
	3	500	550	550	550	550

표 6 재래적 설계법과 최적 설계의 공비비교

구 분	공 비					
	지 간	30	45	40	45	50
재래적 설계 (%)		100	100	100	100	100
최적설계 (ASD)		90.81	91.63	93.01	92.72	93.16
(LRFD)		86.44	87.62	91.13	89.86	90.86
절감효과 (ASD)		9.19	8.37	7.99	7.28	6.84
(LRFD)		13.56	12.38	8.27	10.14	9.14

5.3 민감도 분석

재래적 설계방법에 의해서 결정된 1개의 표준단면에 대한 공비에 비해 최적설계에 의해 결정된 공비가 표 6에 나타낸 바와 같이 각각의 지간길이에 대해서 ASD인 경우 평균 8%, LRFD인 경우 평균 11% 정도의 절감효과가 있음을 알 수 있었고 이것은 경제적이고 합리적인 설계를 위해서는 신뢰성에 근거한 한계상태 설계법인 LRFD로 가까운 장래에 현재의 설계법이 대체되어야 한다는 것을 의미한다. 그림 4에 재래적 설계와 최적 설계의 각 지간에 따른 공비의 변화를 나타내었다. 또한 최적화 프로그램의 계산상의 효율성은 수렴비율과 신뢰도를 조사하는 것으로 검증할 수 있다. 적용예를 바탕으로 그림 5에서 보는 바와 같이 최적화 프로그램을 사용한 합리적인 설계는 약 13회 정도의

반복횟수에서 근접해를 찾아냄을 알 수 있다.

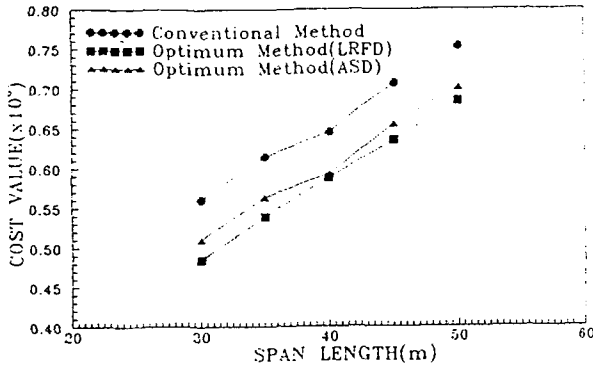


그림 4 설계방법에 따른 공비의 변화

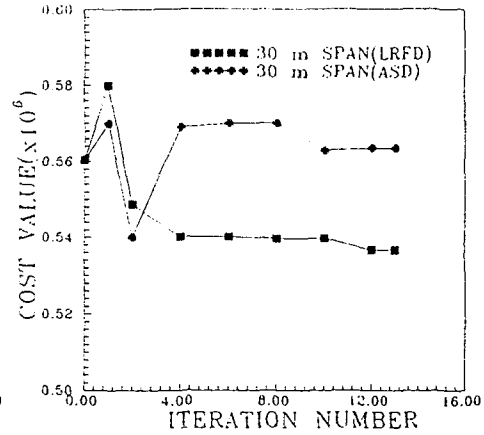
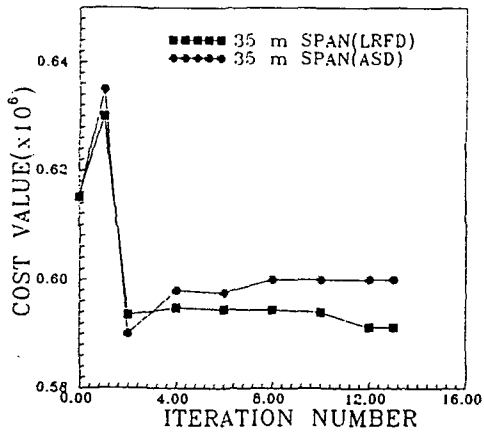
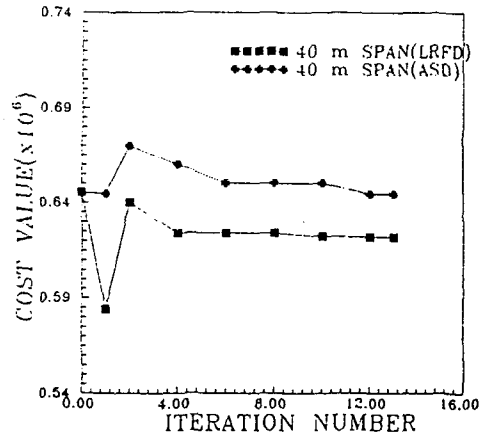


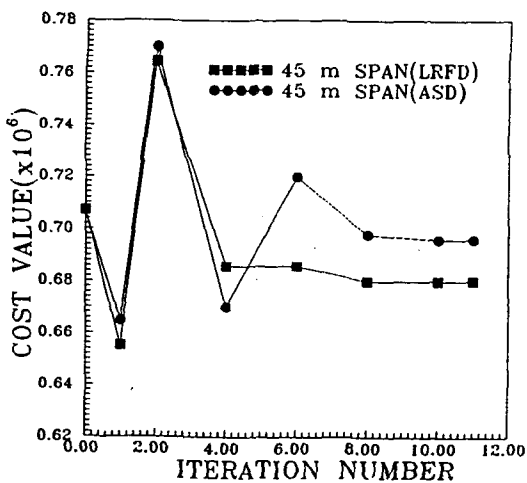
그림 5 반복횟수에 따른 공비비교(지간 30m)



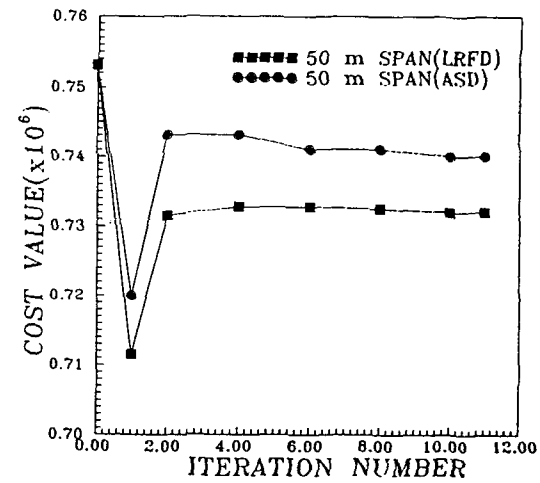
(지간 35m)



(지간 40m)



(지간 45m)



(지간 50m)

그림 6 반복횟수에 따른 공비 비교

6. 결론

본 논문에서 제안한 프리플렉스교에 대한 최소비용설계를 위한 실용적인 최적화 모델은 LRFD 규준에 의거하여 개발되었으며 본 논문에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 프리플렉스교에 대한 최적설계 결과를 재래적 설계 방법에 의한 설계방법과 비교할 때 최적설계는 전체교량에 대해 큰 절감효과를 나타내므로 합리적이고 경제적인 설계를 제공한다.
2. 신뢰성에 근거한 합리적인 설계법인 LRFD에 의해 수행된 최적화는 재래적 방법과 비교할 때 공비의 절감효과를 나타내므로 가까운 장래에 LRFD설계법으로 개체되어야 함을 알 수 있다.
3. 본 논문에서 제안한 최적화 모델과 기법에 의해 개발된 프리플렉스교에 대한 최적설계 프로그램은 임의 초기치에 대해서도 대부분의 경우 비슷한 근접해로의 신속한 수렴이 가능케 하는 매우 효율적인 S/W로서 최적설계결과와 합리적이고 효율적인 결과치로 수렴함을 보여준다.
4. 본 논문에서 개발한 자동화 설계기법은 구조해석과 도면작성의 일관성 유지와 설계경비의 절감 그리고 개방화 시대에 대비한 경쟁력 강화 및 설계성과의 신뢰성 확보 측면에서 그 효율성이 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

7. 참고문헌

1. K. A. Afiniwala and R. W. Mayne(1974), "Evaluation of Optimization Techniques Applications in Engineering Design," J. of Spacecraft and Rocket, 673-674, 1974
2. AISC(1986), "Load and Resistance Factor Design," Manual of Steel Construction, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1986
3. D. M. Himmelblau(1972), "Applied Nonlinear Programming," McGraw-Hill, N.Y. 1972
4. E. D. Eason and R. G. Fenton(1974), "A Comparison of Numerical Optimization Method for Engineering Design," Transactions of the ASME: J. of Eng. for Industry, Vol.96, No.1, 196-200, 1974
5. J. Nelder and R. Mead(1964), "A Simplex Method for Function Minimization," J. of Computer, 308-313, 1964
6. L. A. Schmit(1960), "Structural Design by Systemic Synthesis," Proc. of the 2nd Conference on Electronic Computation, American Society of Civil Engineering, N.Y. 105-122, 1960
7. R. R. Colville(1986), "A Comparative Study of Nonlinear Programming Codes," 320-2949, IBM Scientific Center, Philadelphia, 1986
8. Sampyo Industrial, "Manual for Elastic Design of the Preflex Beam," Sampyo Industrial Co., LTD.
9. T. J. Hogan and A. Firkins(1978), "Standardized Structural Connection," Part A. Details and Design Capacities, AISC, 1978
10. U. Kirsch(1981), "Optimum Structural Design," McGraw-Hill Book Company, 1981
11. Yukio Maeda, Shigeyuki Matsui and Hiroshi Watanabe(1984), "Evaluation of Flexural Rigidity of Pre-Beam Composite Girder Bridges," Tech. Report of the Osaka University, Vol.34, No.1778, 319-328, Oct. 1984
12. 正上 謙武, 竹島 忠, 黄木道弘(1987), "渡大橋 上部工の設計", 橋梁と基礎, 33-39, 1987.2
13. 田村 達, 板尾博秋, 松本利夫, 白井康之(1987), "プリビムブロック設計と施工", 橋梁と基礎, 17-21, 1987.4
14. 대한토목학회(1986), "프리플렉스합설형 표준시방서 및 동해설(안)," 대한토목학회, 1986
15. 대한토목학회(1986), "프리플렉스합설형 설계제작 및 시공지도서," 대한토목학회, 1986
16. 대한토목학회(1986), "프리플렉스합설형 도로교 상부구조 표준도," 대한토목학회, 1986
17. 조효남 박문호, 류연선(1991), "구조물의 최적설계", 제3회 전산구조공학기술강습회, 한국전산구조공학회, 1991
18. 조효남, 심종성(1992), "철근콘크리트 구조설계", 구미서관, 1992