

2연 전력구의 자동화 설계 Development of CAD System for 2Cell Box Culvert

송 영철* 최 홍식** 노 병철*** 우 상균****
Song, Young-Chul Choi, Hong-Sik Rho, Byung-Chul Woo, Sang-Kyun

ABSTRACT

The objective of this study is to develop the CAD system for 2 cell box culvert by ultimate strength design method. C-language & AutoCAD R12 were used to create user-friendly computing environment. Consequently, users can easily design 2 cell box culvert under the various conditions, such as design load, total fill depth, underground water level, strength of concrete, and so forth. This system is believed to improve the efficiency and economy by the batch processing of structural analysis, quick drafting and computation of material quantity in the 2 cell box culvert design.

1. 서 론

본 연구의 목적은 개인용 컴퓨터(PC)를 이용하여 2연 전력구 구조물의 설계 및 도면 생성과정을 개발하고, 그 과정을 손쉽게 실무에 적용할 수 있게 함으로써, 인력의 효율적 활용, 경비절감, 설계 및 시공의 고급화, 생산성의 향상, 설계자료의 관리, 설계의 표준화 등을 도모하는데 있다.

본 연구에서 개발되는 시스템의 사용극대화, 설계능률향상, 구조의 안전성과 경제성을 높일 수 있는 자동화설계 시스템의 개발을 위하여 대상구조물은 2연 전력구 구조물을 선택하였고, 설계이론은 강도설계법을 적용하였으며, 프로그램은 C-언어와 AutoCAD R12을 사용하였다.

본 연구에서 개발된 2연 전력구 구조물의 자동화 설계 시스템은 다양한 설계조건 즉 설계차량하중, 토피, 지하수위, 사용재료의 강도 등의 변화에도 쉽게 자동화 설계가 가능하도록 개발되었으며, 설계변수의 입력만으로 전력구의 단면 산정은 물론 설계도면의 제작이 일괄적으로 실행되므로 실무에서 활용할 경우, 경제성의 제고와 설계도면의 고급화를 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

* 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

** 충청전문대학 토목공학과 교수

*** 상지대학교 토목공학과 전임강사

**** 한국전력공사 전력연구원 연구원

2. 토압분포 및 활하중의 영향평가

전력구에 작용하는 토압분포 및 활하중의 영향은 전력구가 설치될 지반의 지지력, 피토고, 전력구의 단면구성, 뒤펀흙의 내부마찰각, 점착력 및 단위중량, 지하수위의 높이, 다짐상태 그리고 시공방법 등에 따라서 변화하게 된다. 외국의 경우, 현장실험 및 이론분석을 통하여 자국의 실정에 맞는 연직토압 및 활하중 분포의 평가공식을 설계지침과 설계시방서에서 채택하여 설계에 적용하고 있으나, 나라마다 산정공식과 영향변수가 다소 상이하므로 본 연구에서는 이들 공식들을 상호분석하여 그 결과를 기본자료로 활용하고자 한다.

2.1 연직토압의 평가

전력구에 작용하는 토압분포는 연직토압과 수평토압으로 구분되나, 수평토압은 연직토압에 토압계수를 곱하여 평가되므로 연직토압의 엄밀한 평가가 설계하중의 산정에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 적용되고 있는 Marston-Spangler의 이론식, Yaroshenko의 이론식, Frühling의 공식, Bierbaumer의 공식, Pruska의 공식 및 일본건설성의 실험식 등을 상호분석하여 자동화 설계에 적용할 설계하중의 산정에 합리적으로 반영하고자 한다.

그림 1.은 이들 공식들을 적용하여 전력구에 발생하는 연직토압을 평가한 것으로 뒤펀흙의 부등침하면과 내부전단응력을 고려한 Marston-Spangler의 이론식이 가장 안전측이며, 피토고 5m 이상에서 연직토압이 일정한 것으로 가정한 Frühling의 공식은 상대적으로 설계하중을 적게 평가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 분석 결과를 토대로 부등침하면과 내부전단응력을 고려하지 않고도 피토고/외폭의 비에 따른 토압 증가계수를 적용함으로써 연직토압의 산정과정을 단순화시킨 일본건설성의 실험식을 적용하였다.

2.2 활하중의 평가

뒤펀흙을 통하여 전력구의 상판에 전달되는 활하중의 영향을 엄밀히 평가하기 위해서는 뒤펀흙의 비선형 재료거동, 흙-구조물의 상호작용 (soil-structure interaction) 및 구조물의 기하학적 특성을 고려하여야 하므로 매우 복잡한 계산과정을 거쳐야 한다. 특히, 활하중의 하중전달기구(mechanism)나 활하중에 의해 발생하는 토압분포를 산정하기 위한 해석적 공식이 존재하지 않기 때문에 유한요소이론(FEM) 및 경계요소이론(BEM)과 같은 근사적인 수치해석을 실시하여야 하므로 시간과 노력이 많이 요구된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 뒤펀흙을 선형탄성 및 등방성 거동을 따르는 것으로 가정한 후, 탄성해법을 적용하는 것이 일반적인 평가방법이다.

지금까지 적용되고 있는 탄성해법으로는 뒤펀흙을 반무한의 등방탄성체로 가정한

Boussinesq 이론, 지반을 선형탄성거동으로 가정한 Westergaard 이론 및 뒤채움흙의 물성 변화를 고려하여 반무한의 다층탄성구조로 이상화시킨 Burmister 이론 등이 있다. 그림 2.는 이들 이론식과 건설부 시방서, 미국 AASHTO시방서, 일본건설성의 설계기준 및 지중선 설계 지침을 비교분석한 것으로서 미국 AASHTO의 제안식이 합리적인 것으로 평가되나 산정과정 이 복잡하므로, 본 연구에서는 우리나라의 지중선 설계지침에서 제시하고 있는 활하중 평가 방법을 적용하였다.

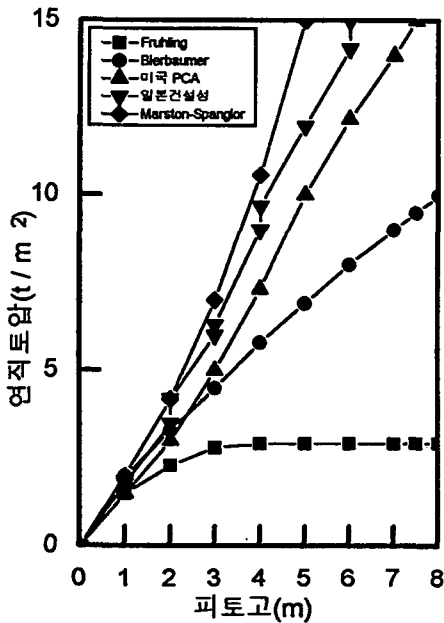


그림 1. 연직토압의 비교분석

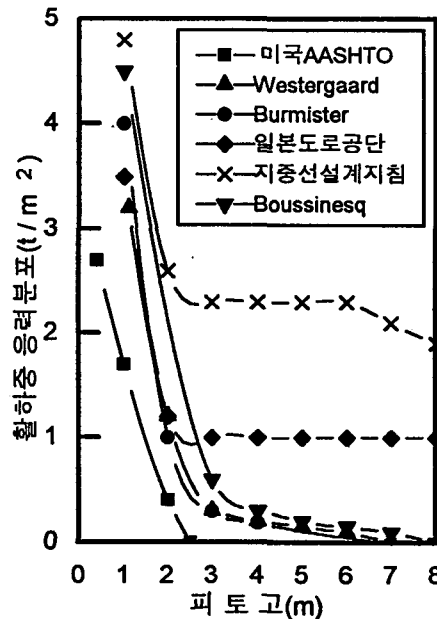


그림 2. 활하중의 평가공식

2.3 전력구의 거동평가

전력구 상부의 토피두께가 변화하는 경우에는 최대 토피두께에 대하여 단면을 설계하여 전 구간에 적용하는 것이 일반적인 과정이지만, 기초지반이 불안정하다고 판단될 때에는 종방향 거동을 평가하여 이를 단면설계에 효율적으로 반영해야 한다. 이런 경우에는 구간별로 구분하여 변화구간마다 설계하면 된다. 전력구에 작용하는 종방향 모멘트, 전단력 및 처짐을 산정하기 위해서는 탄성지반위에 놓인 보 이론 (beam on elastic foundation)을 적용하여야 한다. 탄성지반 위에 놓인 보 이론은 기초지반의 지반지지력계수 (modulus of sub grade reaction, k)가 전길이에 대하여 동일하다고 가정한 후, Winkler의 탄성이론 및 미분방정식을 이용하여 모멘트, 전단력 및 변위함수를 이론적으로 유도한 것으로, 적용과정은 식(1), (2) 및 (3)과 같다.

$$k' = k \cdot B_o \quad (1)$$

$$\beta = \frac{k'}{\sqrt[4]{4EI}} \quad (2)$$

여기서, k : 전력구 기초지반의 지반지지력 계수 (kg/cm^3)

B_o : 전력구 외폭 (cm)

β : 상대강성의 반경 (cm)

I : 전력구의 단면 2차 모멘트(cm^4)

$$\text{모멘트 : } M(x) = \frac{qB_o}{4\beta} [B(\beta X_1) + B(\beta X_2)]$$

$$\text{전단력 : } V(x) = \frac{qB_o}{4\beta} [C(\beta X_1) + C(\beta X_2)] \quad (3)$$

$$\text{처짐 : } \delta(x) = \frac{qB_o}{2k} [2 - D(\beta X_1) - D(\beta X_2)]$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } B(\beta X) &= e^{-\beta X} \sin \beta X \\ C(\beta X) &= e^{-\beta X} (\cos \beta X - \sin \beta X) \\ D(\beta X) &= e^{-\beta X} \cos \beta X \end{aligned}$$

3. 2연 전력구의 해석 및 설계

3.1 활하중의 산정

활하중에는 크게 도로교하중과 철도교하중으로 구분할 수 있으며 윤축의 축거, 전력구의 깊이, 하중의 분포폭 및 전력구의 폭에 따라 2연 전력구의 부재에 최대 모멘트 및 전단력이 발생하는 하중조합을 고려하여 구조해석을 실시하였다.

3.2 사하중의 산정

연직토압의 경우는 포장재, 피토(건조된 토사, 수위하부의 토사), 및 구조물의 자중을 고려하였으며, 수평토압의 경우는 전토압이 작용하는 경우와 1/2토압이 작용하는 경우를 구분하여 해석하였다.

3.3 2연 전력구의 구조해석

전력구 구조는 종방향으로 매우 긴 구조이므로 단면을 설계하는 경우에는 길이 방향으로 1m 구간만을 택하여 구조해석과 단면설계를 수행한 후 인접한 구간(설계 조건이 동일한 구간)에 그대로 적용하는 것이 일반적이다. 전력구는 부정정 라멘구조물이기 때문에 요각법, 모멘트분배법, 에너지법 또는 매트릭스 구조해석등을 이용하여 단면설계를 위한 모멘트, 전단력 및 축력을 산정하여야 하므로 계산과정이 복잡하게 된다. 그러나 2연 전력구의 경우, 요각법을 적용하면 상판, 측벽 및 저판에 작용하는 부재력 산정공식의 도출이 가능하므로 이들 식을 이용하여 효율적으로 부재력을 계산할 수 있다.

본 연구에서는 상판, 저판 및 측벽의 휨모멘트 및 전단력은 요각법을 이용하여 산정하였으며, 부재력은 전도압 및 전도압의 1/2이 작용하는 경우에 대하여 산정한 후 단면설계에 적용하였다.

3.4 2연 전력구 단면의 설계

전력구의 안정성과 사용성을 확보하기 위하여 단면설계는 연성을 갖도록 설계하여 실제의 거동에 가깝도록 모형화 하였으며, 설계이론은 강도설계법을 적용하였다. 전력구의 설계과정을 흐름도로 나타내면 그림 3.과 같다

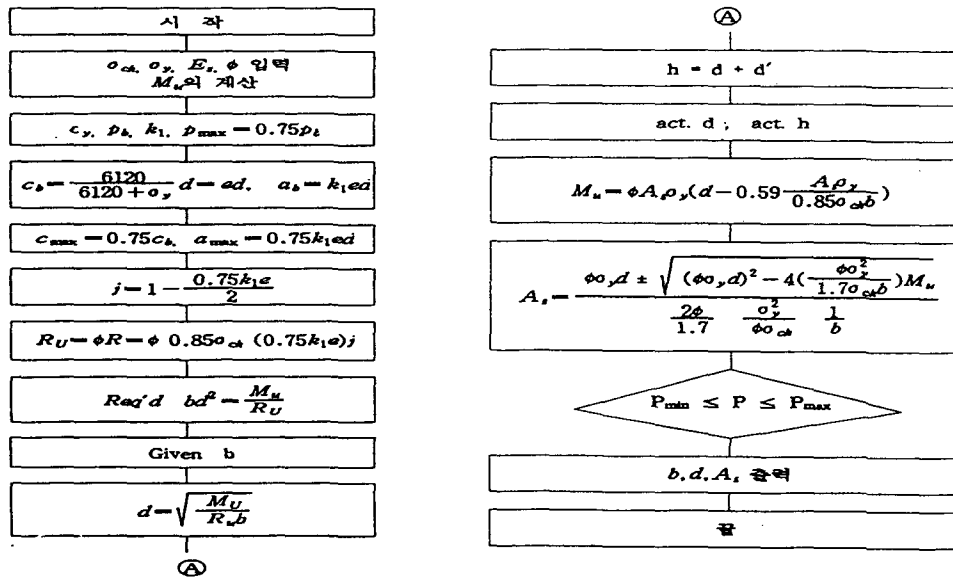


그림 3. 전력구 단면설계의 흐름도

4. 자동화 설계

4.1 2연 전력구 설계과정의 체계화

본 연구에서 개발한 전력구의 설계 프로그램은 기존 전력구조물의 설계도서 및 지중선 설계지침을 참고로 하여 강도설계법을 채택하여 C 언어로 개발되었으며, 설계시 고려하여야 할 모든 조건들이 pull down menu 를 통하여 프로그램 내에서 선택되도록 하였다.

설계조건, 하중조건, 토질상수 및 구성재료의 강도가 주어질 경우, 집수정 및 환기구 등에 일반적으로 활용되는 2연 전력구의 단면설계 및 세부철근의 배치과정을 체계적으로 도시하면 그림 4.와 같다.

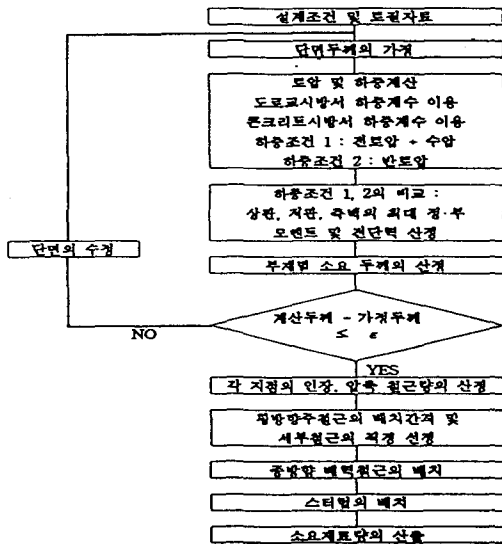


그림 4. 전력구 설계과정의 체계화

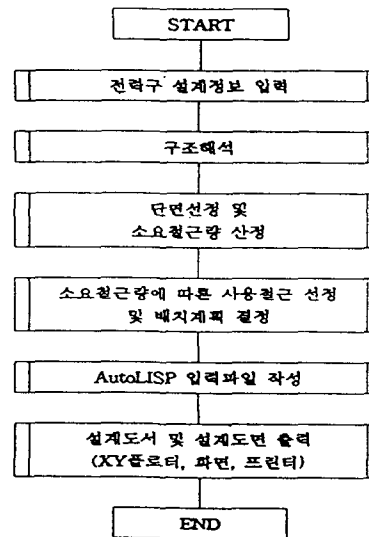


그림 5. 설계자동화 시스템의 구성

4.2 2연 전력구의 설계자동화 알고리즘

전력구 본선의 graphic algorithm 및 재료물량 산출 프로그램의 개발에는 개인용 컴퓨터의 기억용량 및 DOS의 주기억 장치 내의 memory 사용범위가 제한되어 있으므로 설계단면 및 철근 등의 설계정보를 AutoLISP용 입력자료로 변환시킬 때 가능한 한 최초의 입력자료를 채택함으로써 AutoLISP내에서 최소의 기억용량만이 소요되도록 효율성을 제고하였다. 또한 기존의 설계도서를 참고로 하여 전력구를 대상으로 자동설계 및 graphic algorithm을 개발하였으며, 시스템의 구성을 도시하면 그림 5.와 같다.

4.3 2연 전력구의 설계 예

설계결과를 평가하기 위한 2연 전력구의 모형과 출력결과는 그림 6. 및 그림 7.에 각각 도시하였다.

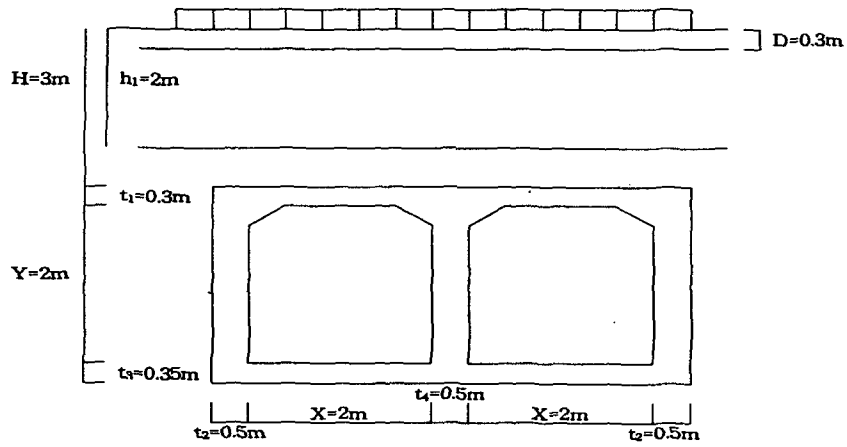


그림6. 전력구의 모형

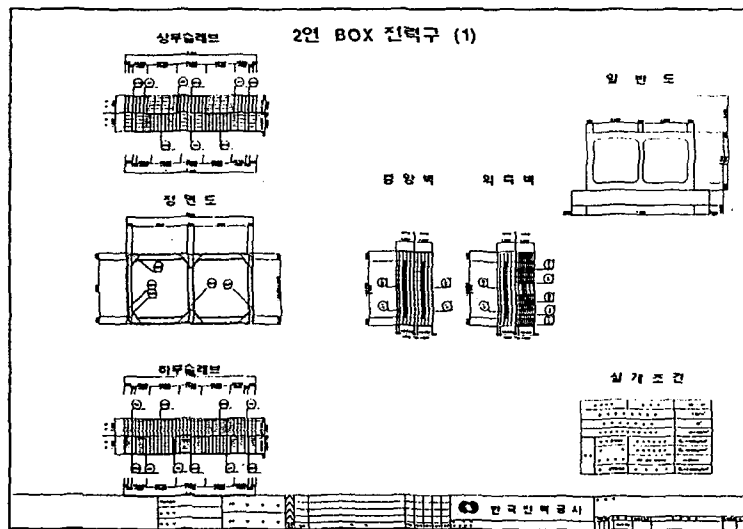


그림7. 2연 전력구 자동화 설계의 출력 예

5. 결 론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 다양한 설계조건 즉 설계차량하중, 토피, 지하수위, 사용재료의 강도 등의 변화에도 쉽게 자동화 설계가 가능하도록 설계시스템이 개발되었다.
- 2) 개발된 설계시스템은 도로교 표준시방서와 콘크리트 시방서의 하중계수에 의한 방법을 모두 포함하고 있으며, 설계시방서에 따른 변화에도 신속하고 용이하게 대처할 수 있도록 개발되었다.
- 3) 본 설계시스템은 확실한 구조안전성을 확보하면서 2연 전력구의 경제적인 설계가 가능하도록 구축되었다.
- 4) 본 연구에서 개발된 software 및 사용자 편람은 전 과정을 이해하지 못하더라도 입력자료 공급능력만 갖추면 설계할 수 있도록 개발되었다.
- 5) 개발된 본 설계시스템에 국부적인 기하조건, 설계하중, 구조세목만 보완하면 전력구 구조외에도 발전소의 배수 BOX구조, 도로 및 철도 횡단용 BOX구조, 지하차도 및 보도, 하수 및 배수 BOX구조, 분류하수관거, 지하철 BOX구조 등의 자동화 설계에도 적용할 수 있도록 시스템이 구축되었다.
- 6) 본 연구에서 개발된 자동설계시스템은 전력구 단면의 산정, 설계도면의 제작기능은 물론 설계정보의 데이터베이스 기능이 있으므로, 실무에서 활용할 경우 설계도면 재료량 산출 및 설계정보의 효율적인 관리가 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 콘크리트표준시방서, 건설부, 1988.
2. 건설부, 구조물기초설계기준, 건설부, 1986.
3. 건설부, 도로교표준시방서, 건설부, 1992.
4. 대한주택공사, 철근콘크리트조의 배근지침에 관한 연구, 대한주택공사, 1990.
5. 건설부, 철근콘크리트설계편람(II), 건설부, 1990, pp. 503-544.
6. 김용성, 서재철, AutoLISP 매뉴얼, 영진출판사, 1988.11.
7. 원송희, AutoCAD 트레이닝 매뉴얼, 진출출판사, 1988, pp.26-147.
8. 한국전력공사 지중선 사업처, 전력구설계기준, 한국전력공사, 1989, pp.5-46.
9. Reynolds, C.E. and Steedman, J.C., Reinforced Concrete Designer's Handbook, 9th Edition, A Viewpoint Publication, 1979.
10. Katona, M.G. and Vittes, P.D., "Soil-Structure Analysis and Evaluation of Buried Box-Culvert Design," TRR, No.878, TBR, 1984, pp. 49-55.