

P.S.C 거더교량 및 교대의 설계 자동화 프로그램 개발

A Development of the Automatic Design Program of the P.S.C Girder Bridge and the Abutment

김 태 진* 박 종 한* 정 진 환** 김 성 도***
Kim, Tae-Jin Park, Jong-Han Cheung, Jin-Hwan Kim, Seong-Do

ABSTRACT

In general, engineers have to consider a variety of factors in design of a structure. For this reason, it was difficult to make a design program up to now. But the rapid development of hardware and software turns it into a possible one with considering complex factors and designing simple structures. When we use the design program including structural analysis, we can save time and cost to make calculations, report and drawing. In addition, the design program was developed to reduce the man made errors.

Therefore, in this study, we try to develop the design program of the superstructure of P.S.C girder bridge and abutment.

This program will provide engineers with time that they can spend on a creative and efficiency task for development of design.

1. 서 론

토목구조물은 현장조건, 경제적인 측면과 주변환경을 생각하는 미관 그리고 설계자의 주관에 따라 설계가 다양하게 이루어진다. 이런 다양한 요소를 충족시킬 수 있는 프로그램의 개발은 많은 제약이 있었는데, 급속한 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 발달로 비교적 간단한 토목구조물은 설계자동화가 가능하게 되었다.

컴퓨터를 이용한 설계 자동화는, 단순 반복적인 작업에 대한 시간의 낭비와 설계자의 실수 등으로 인한 오류 등을 해결할 수 있을 것이며, 이를 통한 설계기간의 단축과 불필요한 인력의 낭비 등 많은 경제적인 이익과 구조적으로 보다 안정된 구조물의 설계가 가능하다.

따라서 본 연구는 실무적인 측면에서 프로그램 개발에 임하였고, 현재 국내에서 비교적 많이 건설되고 있는 교량의 상부구조인 P.S.C 거더교와 하부구조인 교대의 자동설계 프로그램의 개발에 임하였다.

* 부산대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수

*** 정회원 · 경성대학교 토목공학과 부교수

2. 프로그램의 개발

2.1 대상구조물

본 연구의 적용대상 구조물로는 현장에서 많이 사용되고있는, 토목구조물 중 상부구조와 하부구조로 나누어 상부구조는 P.S.C 거더교량을 하부구조로는 교대를 선택하였다.

P.S.C 교량은 단면형상 및 구조형식, 가설공법 등에 따라 다양하게 분류할 수 있으나 국내에서는 주로 합성형교·슬래브교·박스거더교·사장교 등이 사용되고 있다. 그 중에서도 P.S.C 거더교량은 고속도로나 지방의 국도 등에서 중·소규모의 교량에 자주 사용되는 형식이다. 현재 국내에서 P.S.C 거더교의 설계는 특수한 형태의 거더를 사용하지 않은 경우에는 표준도가 작성되어 있어서 설계시에는 표준도를 적용하여 설계, 시공하고 있다. 만일 표준도와 설계조건이 약간의 차이를 보일 경우 시행착오의 과정을 겪으며 복잡한 구조계산작업이 수행되어야 하며, 아울러 많은 노력과 시간이 필요하다. 게다가 이러한 복잡한 과정을 거쳐 만들어지는 구조계산서를 바탕으로 설계도면이 만들어지는데, 이 과정에서 업무분담이나 실수로 인한 구조계산서와 설계도면의 내용이 일치하지 않는 심각한 문제가 발생하는 경우가 있다. 만일 이러한 오류를 발견하지 못할 경우 구조물의 안전성에 치명적인 문제가 발생할 것이다. 그리고 교대는 교량 설계시 필수 구조물로 여러 종류의 교대형식 중 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 역T형 교대를 선택하였다. 앞에서 언급한 제반 문제점들이 그대로 나타나고 있다.

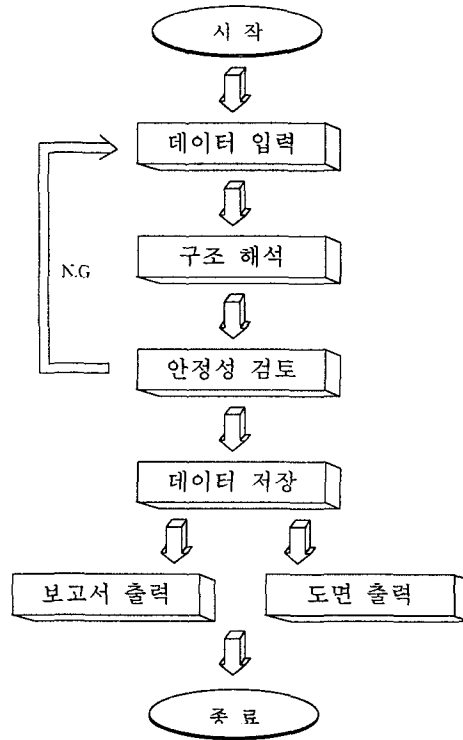
따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 하기 위해, 비교적 복잡하지 않은 토목구조물 중에서 상부구조로서는 P.S.C 거더교를 하부구조로서는 교대를 선택하여 설계자동화 프로그램을 개발함으로써 불필요한 시간의 낭비를 줄이고 설계과정에서 발생하는 오류를 사전에 제거하여 좀더 생산적이고 효율적인 업무수행에 시간과 노력을 투자하기 위함이다.

2.2 프로그램의 적용

| P.S.C 거더교량 | 교 대 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · 설계방법 : 강도설계법 및 허용응력설계법 · 형 식 : P.S.C 합성 거더교 · 프리스트레싱 방법 : Post-Tension · 적 용 : 단순교, 직선교 | <ul style="list-style-type: none"> · 설계방법 : 강도설계법 및 허용응력설계법 · 형 식 : 역T형 교대 · 기초형식 : 직접기초, 말뚝기초 · 내진설계 : 가능 · 적 용 : Skew = 0 |

3. 프로그램의 구성

3.1 순서도



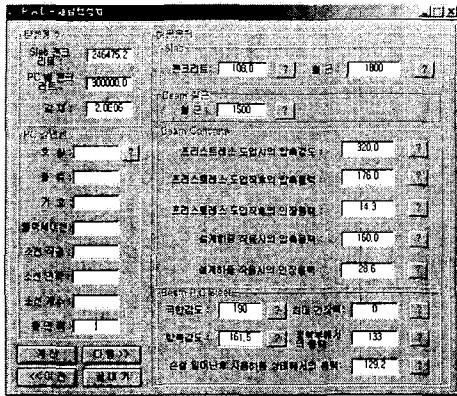
<그림 3.1.1 프로그램의 순서도>

3.2 상부구조 (P.S.C 거더교량)

상부구조는 현재 국내에서 비교적 많이 설계·시공되고 있는 P.S.C 거더교량에 대해서 다루었으며 일반적인 설계기준(도로교 설계기준 2000) 및 지침의 범위를 벗어나는 특수한 형식의 P.S.C 거더교량 설계에는 적용되지 않는다.

(1) 데이터 입력

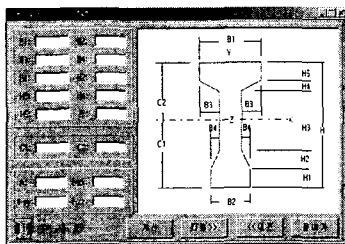
데이터 입력부분은 설계조건, 단면가정으로 나눌수 있다. 설계조건에서는 교량의 등급, 지간, 사용재료등의 값을 입력하도록 되어 있으며 입력된 수치들에 따라서 <그림 3.2.1>에서 보여주는 것처럼 사용재료들의 허용응력을 [도·설 2.2.2.4]의 규정에 의해 나타내도록 되어 있다. 도로교 설계기준의 규정들은 각각의 TextBox 오른쪽에 있는 도움말들에 자세하게 나타냄으로써 규정의 변경시 사용자가 수계산으로 그 수치들을 수정할 수 있도록 하였다.



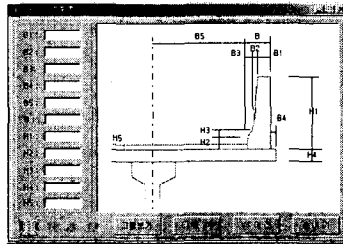
<그림 3.2.1 재료특성치>

<그림 3.2.2 P.C강재 Table>

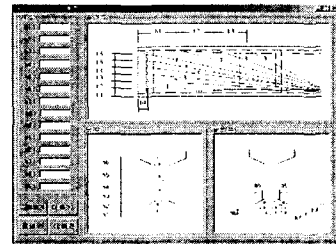
본 프로그램에 구성되어 있는 <그림 3.2.2>와 같은 14개의 도움말 Form들은 사용자의 데이터 입력의 편리함과 각각의 데이터들의 근거를 제시하기 위해, P.S.C 콘크리트, P.C강재등의 허용응력, 덕트의 형태에 따른 마찰계수, 유효폭등의 설계규정을 제시하였다. <그림 3.2.2>는 P.C 강재(강선, 강연선, 강봉)의 종류와 특성치들을 KSD7002, KSD3505에 따라 Data Base화하여 간단한 마우스의 조작으로 Data를 입력할 수 있게 하였다.



<그림 3.2.3 거더 중앙부단면>



<그림 3.2.4 방호벽>



<그림 3.2.5 P.C 강선 배치>

(2) 하중 및 구조해석

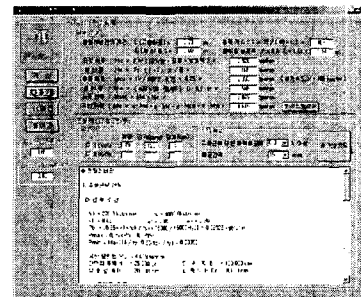
1) 주거더

① 고정하중 - 주거더, 바닥판 및 가로보, 포장 및 방호벽에 의한 하중을 고려하였다. 상기 고정하중들은 모두 등분포하중으로 가정하였고, 가로보의 경우 여러개의 집중하중으로 작용시켜 단일빔 해석을 하였다.

② 활하중 - 총계계수, 횡분배계수를 고려하였다. 외측거더의 경우, AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges(16th Edition) 3.23.2.3.1.2에 의거하여 단순 내민보로 가정하여 얻어진 반력을 횡분배계수로 정하였고 내측거더의 경우, AASHTO 3.22의 TABLE 3.23.1에 의거하여 2차선 이상이면서 거더간격이 4.2m 이하인 경우를 적용하였다.

2) 바닥판

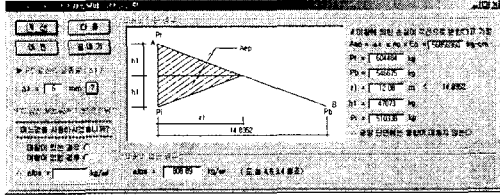
중간바닥판의 경우는 고정하중과 활하중만을 고려하였고, 캔틸레버



<그림 3.2.6 바닥판 설계>

판의 경우는 고정하중과 활하중외에 풍하중과 충돌하중에 의한 영향을 추가적으로 고려하여 [도·설 2.2.3.2]에 의거하여 가장 큰 단면력을 발생시키는 하중조합을 선택하였다.

3) 프리스트레스

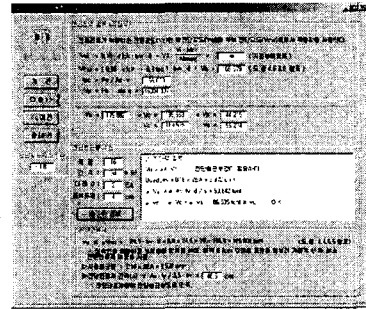


<그림 3.2.7 Pc강선 세트량에 의한 손실>

[도·설 4.6.3.4]를 근거로 간이 계산법을 사용하지 않고 프리스트레싱 직후의 손실과 프리스트레싱 후 시간에 따라 발생하는 손실을 6단계로 나누어 정밀 계산을 하였으며 각 Form마다 손실 계산에 관한 근거와 상세한 설명이 첨부되어 있다.

(3) 안정검토 및 철근량 산정

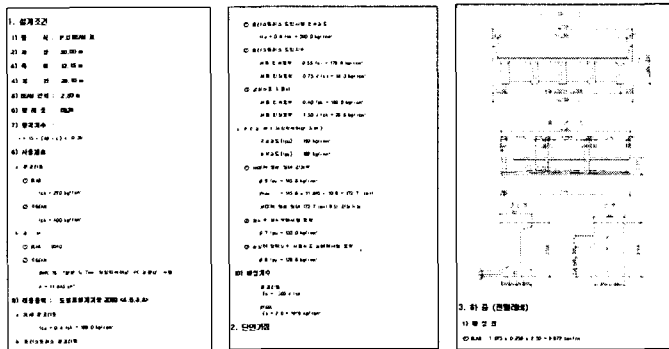
- 1) 휨강도 검토 - 긴장재의 유효 프리스트레스 응력이 극한 응력의 1/2이상인 경우에는 설계기준의 규정에 따라 휨 저항강도를 계산하며, 1/2미만인 경우 변형률 적합조건 (strain compatibility)에 의하여 휨 강도를 계산하도록 Module화 하였다.
- 2) 전단강도 검토 - 휨전단강도와 복부전단강도중 작은 값으로 구한 스테럽이 주거더와 바닥판의 전단연결재로의 역할을 하는지를 동시에 검토하도록 되어 있다.
- 3) 철근량 산정 - 주거더와 바닥판의 배근은 2cycle까지 가능하도록 하였으며 사용성 검토와 배력 철근의 자동 계산을 추가 하였다.



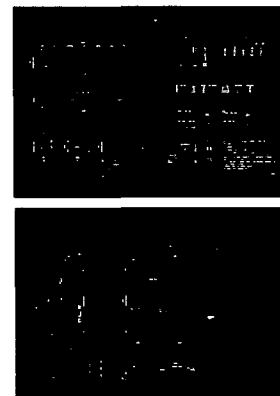
<그림 3.2.8 전단응력검토>

(4) 구조계산서 및 설계도면

모든 설계과정이 완성되면 <그림 3.2.9>와 같은 그림을 포함한 총 50page 분량의 구조계산서와 <그림 3.2.10>과 같은 6장의 설계도면이 자동으로 생성된다. 구조계산서는 MS word, 설계도면은 Autocad와 호환되어 진다.



<그림 3.2.9 구조계산서>



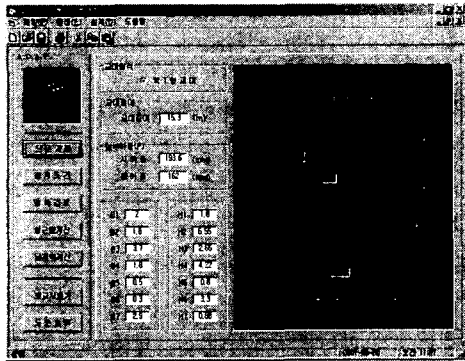
<그림 3.2.10 설계도면 일반도>

3.3 하부구조 (교대)

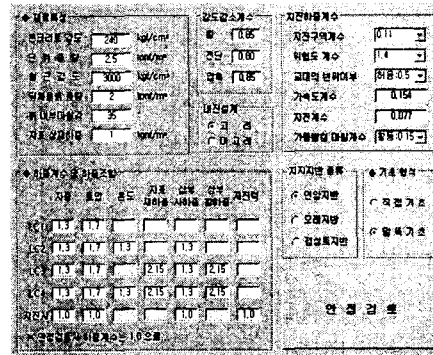
하부구조인 교대는 교량의 양 끝단을 받치며, 교량의 상부하중과 배면 성토의 토압이나 지표재하중 등을 지지하면서 교대 자중을 포함하여 기초에 전달하는 역할을 하는 구조물로 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 역T형 교대를 대상으로 하였다.

(1) 데이터 입력

교대 설계자동화 프로그램(A.D.A.P)을 실행하고, 설계를 시작하면 아래 <그림 3.3.1>이 나타나며, 이 그림은 프로그램의 전체적인 형상이며, 설계의 처음인 단면가정 부분이다. 교대형식은 역T형이며, 교대의 길이와 상부교량이 교대에 작용하는 사하중과 활하중 및 교대 단면의 치수를 사용자가 입력할 수 있으며, 그리고 슈의 위치와 높이를 결정하여야 한다. 벽체 배면의 경사가 있을 경우에는 수평거리를 입력한다.



<그림 3.3.1> 단면가정 입력창



<그림 3.3.2> 설계조건 입력창

<그림 3.3.2>는 설계조건을 입력하는 폼으로, 여기서는 사용자의 편의를 위하여 설계시 가장 많이 사용되고 있는 조건들이 기본적으로 입력되어 있으며, 설계조건에 따라 사용자가 바꿀 수 있다. 그리고 내진을 고려할 수 있으며, 현장 지반을 고려하여 지반조건 선택 및 기초형식을 사용자가 선택할 수 있게 되어 있다.

(2) 하중 및 구조해석

- 사하중 - 교대의 자중, 토압, 상부 사하중, 온도하중
- 활하중 - 지표재하중, 상부 활하중

토압 계산시 상시 안정검토에는 Rankine의 토압공식을, 벽체의 단면 검토에는 Coulomb의 토압공식을, 지진시 안정검토에는 Monobe-Okabe 토압공식을 적용하였고, 내진 설계를 할 경우 지진하중을 고려하였다.

위의 하중들을 <도로교설계기준 2000>에 근거한 하중계수들을 적용하여 구조물의 시공 중, 시공 후, 온도 및 활하중 재하 등의 Load Case로 구분하여 구조물에 가장 불리하게 작용하는 하중조합을 사용하여 각각에 대한 안정검토를 하였다.

말뚝설계에서 말뚝반력과 변위량은 확대기초를 강체로 보고 확대기초의 변위를 고려한 탄성해석법(변위법)을 적용하였다.

(3) 안정검토 및 철근량 산정

홍벽, 벽체, 앞굽판, 뒤굽판 단면의 안정검토 및 철근량 산정부분으로, 설계자가 직접 철근직경, 간격, 피복두께를 입력할 수 있으며, 2단 배근까지 설계가 가능하다. 그리고 설계 초심자라도 쉽게 철근 배근을 할 수 있게 자동 배근 옵션을 선택하여 철근간격 만을 입력하고 철근 배근이 가능하도록 하였다. 입력이 끝나고 배근을 하면, 각 단면에 대한 결과가 즉시 나타나고, 결과 값을 보고 설계자가 수정하여 보다 안전하고, 경제적인 설계가 가능하다. 아래 <그림 3.3.4>는 각 단면에 대한 단면력을 보여주고 있다.

| 구분 | 정 양력 | | 역 양력 | | 단면 모멘트 |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | Sx | Sy | Mx | My | |
| 앞 벽 (A) | 5.11 | 45.99 | 16.34 | 26.92 | 0.11 |
| 벽 체 (B) | 42.58 | 109.96 | 159.36 | 236.95 | 1.9677 |
| 앞굽판 (C) | 6.44 | 111.83 | 11.76 | 172.64 | 9.49 |
| 뒤굽판 (D) | 28.04 | 104.96 | 54.36 | 236.95 | 48.04 |

<그림 3.3.4> 단면력

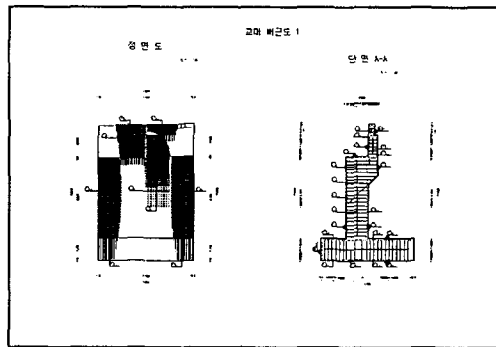
<그림 3.3.3> 철근량 입력창

(4) 구조계산서 및 설계도면

설계가 완료되면 입력된 데이터를 바탕으로 구조계산서가 아래 <그림 3.3.5>과 같이 만들어진다. 말뚝검토를 포함하면 약 75page 분량의 구조계산서가 만들어지며, 여기에는 슈 부분과 접속 슬래브 부분이 포함되어있지 않다.

| REPORT | |
|----------------|----------------------------------|
| 1) 설계조건 | |
| 1) 일반 단면 | |
| 2) 상부구조 형식 | 역 T 형 교대 |
| 3) 교대 폭 | 1.500m |
| 4) 교대 폭 | 15.300 |
| 5) 시 각 | 90° |
| 6) 하부구조 형식 | 역 T 형 교대 |
| 7) 기초 형식 | 각 인 기초 |
| 8) 지지 기판 | 연결 |
| 9) SHAPE의 사용형식 | 가동 |
| 10) SHAPE의 종류 | 단 열 BEARING (1, 2, 8 BEARING) |
| 2) 지반조건 | |
| 1) 토체중의 단위중량 | $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$ |
| 2) 토체중의 단위중량 | $\gamma = 2.00 \text{ tons/m}^3$ |

<그림 3.3.5> 구조계산서 보기



<그림 3.3.6> 설계도면 중 배근도1

그리고 <그림 3.3.6>은 설계도면의 일부분인 철근 배근도이다. 본 교대설계자동화프로그램에 의하여 생성되는 설계도면은 일반도, 철근 배근도 2장, 철근 상세도 4장의 도면이 자동으로 만들어진다.

4. 프로그램의 개발환경 및 권장 운용환경

| 구분 | 개발환경 | 권장 운용환경 | 비고 |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|
| Processor | Pentium II | Pentium II 이상 | |
| RAM | 128M | 128M 이상 | |
| Operating System | Microsoft Windows ME | Microsoft Windows 98 이상 | |
| Graphic Device | 1152 × 864 해상도 16 Bit High Color | 1024 × 768 해상도 16 Bit High Color | |
| 기타 프로그램 | AutoCad 2000 | AutoCad 14 | 도면작성 |
| 개발 Language | Visual Basic 6.0 | | |

5. 결 론

본 연구에서는 비교적 간단한 토목구조물 중 상부구조인 P.S.C 거더교와 하부구조인 교대를 설계 자동화하여, 설계자가 단순 반복적인 작업으로 인한 실수와 시간의 낭비 등으로 인한 경제적 손실과 불필요한 인력의 낭비를 막고, 그리고 설계의 초심자도 쉽게 설계를 할 수 있도록 편리한 인터페이스에 중점을 두었다.

비록 표준적인 단면에 대하여 제한적이지만, 자동설계프로그램의 개발에 의해 많은 시간을 필요로 했던 구조계산서와 도면작성이 가능하게 되어, 설계자는 보다 많은 단면가정이 가능하여 최적의 단면 선택에 노력할 수 있을 것이다.

본 프로그램에서 개선되어야 할 부분은, 사용자가 보다 편리하게 사용하고 설계에 익숙하지 못한 사람도 능히 전문가와 같은 결과를 가져올 수 있게 전문가 시스템 기법을 많이 가미하여야 한다는 것이다. 그리고 데이터의 처리방법과 기능도 개선을 해야 할 것이다. 또한 설계의 기법도 다양화하여 일반적인 경우 뿐만 아니라 특수한 경우에도 설계가 이루어 질 수 있도록 개량해야 할 것이다.

이러한 하나의 프로그램이 당장 실무에 꼭 맞게 적용되기는 많이 부족하지만 여러 개의 Module들이 모여서 하나의 프로그램으로 완성이 되고 많은 기법들이 추가된다면 실무에 무리 없이 쓰일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. “도로교설계기준” 2000 건설교통부
2. “도로설계편람(Ⅲ)” 2001 건설교통부
3. “콘크리트구조설계기준·해설”, 2000 한국콘크리트학회
4. 신현목, “프리스트레스트 콘크리트”, 동명사, 1997
5. 김상규, “土質力學 - 理論과 應用”, 청문각, 1997
6. 편집부, “말뚝기초의 설계”, 건설도서, 1997
7. Michael P. Collins and Denis Mitchell, “Prestressed Concrete Structures”, 1997
8. Edward G. Nawy, “Prestressed Concrete”, 1999
9. 손상영, “기존의 설계 자료를 이용한 쉐일레버식 옹벽의 설계 프로그램 개발”, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집, 1999
10. 이형배, “이형배의 비주얼베이직6”, 사이버출판사, 2000