

# R/C BOX 암거설계 전문가시스템

## EXPERT SYSTEM for R/C BOX-CULVERT DESIGN

김 우\*      김 대중\*\*      정 제평\*\*\*  
Kim, Woo    Kim, Dae Joong    Jung, Jae Pyoung

### ABSTRSACT

The objective of this study is to develop the expert system for R/C box culvert design. This program provided various functions to improve automatic design. The program is composed of five steps. The characteristics of each step are as follows; 1) Preprocessing Step, 2) Analysis Step, 3) View of Memberforce Step, 4) Postprocessing Step, 5) Printing of Design-Sheet Step. Finally, Expert System and Knowledge Database System is developed for the drawing of optimal R/C box-culvert design.

## 1. 서론

본 연구는 실무적인 차원에서 암거설계의 일괄작업을 위해 독자적인 통합환경을 구축하는 것이다. 통합개발환경(IDE : Integrated Development Environment) System을 Dr. Culvert라 명칭한다. 통합개발환경은 그래픽 방식의 메뉴 체계를 지원하며, 프로그램 개발에 필요한 모든 과정이 일괄적으로 이루어질 수 있도록 해주는 체계를 말한다. 차후, 도시지하철도 설계용 확장프로그램으로 구축하기 위해 Module화 함수로 구성하였다. 또한, 전문가시스템(Expert System)의 개념을 적용하여, 설계시 전문적인 판단을 요하는 단면결정과 철근량결정과정에서 적용하였다. 본연구인 통합환경개발시스템인 Dr. Culvert는 C언어를 사용하여 작성되었고, 주변장치로는 Mouse와 HP계열의 프린터를 구비하여야 한다.

## 2. Dr. Culvert의 구성단계

### 2.1 통합개발환경 구축

독자적인 Package 소프트웨어의 기능을 수행하기 위해, 기존의 CAD시스템이나 기타 상품화된 Software의 도움없이 자체의 통합환경을 개발한다. 따라서 통합개발환경은 그림 1과 같이 프로그램 개발에 필수적인 여러가지 기능 즉, 입력작업, 계산과정, 단면력 Display, 철근량산출작업, Drawing 작업, Printing 작업등을 하나로 통합하는 내장(Built-in)시스템 개발을 목적으로 한다. 특히, 출력과정에 대한 함수를 이용하여 구조계산서 및 설계도면자료 그리고 현재 수행화면을 바로 Laser와 Deskjet Printer로 출력한다.

### 2.2 그래픽 방식의 입력작업

전처리(Preprocessing) 과정에서 그래픽 입력작업함수를 갖추지 못한 JCL(Job Control Language) 방식은 많은 시간과 입력작업의 어려움이 있다. 따라서 본 연구인 Dr. Culvert는 그래픽 입력방식을 채택하여, 입력작업이 용이성을 확보하고 설계자의 입력 Data 실수에 대한 Error Message를 출력하므로써, 입력작업의 편리성과 시간 단축 그리고 효율적인 입력 Data 관리를 수행한다.

\* 정희원    전남대학교 토목공학과 부교수  
\*\* 정희원    전남대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 전남대학교 토목공학과 석사과정

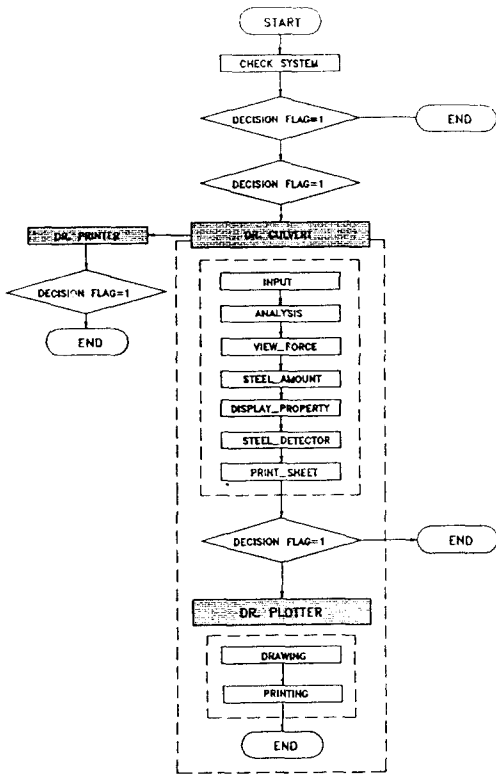


그림 1. 시스템구성도

### 2.3. 단면결정 전문가시스템(ES I)

전문적인 설계자가 아닌 일반설계자의 경우에, 단면Data의 입력과정은 무지와 실수, 판단의 어려움으로 인해 초기 단면상수와 설계하중등의 입력자료에 대해서 과대 및 과소 단면이 발생할 수 있다. 따라서 단면제원의 입력에 대한 최적의 단면제원 판단 및 결정에 대한 단면결정 전문가 시스템(Expert System)을 구축한다.

### 2.4. 철근량결정 전문가시스템(ES II)

사용철근종류와 배근간격에 대한 전문가 시스템의 구축은 최적 철근량 산출과정으로 최적설계를 수행 할 수 있다. 따라서, 구조적 안전성과 경제성을 확보하기 위한 철근량결정 전문가시스템을 구축한다.

### 2.5 확장모듈(Module)화 구성

본 연구는 지하도시철도구조물의 설계에 적용하기 위한 기초적인 연구단계이다. 따라서 압거구조물의 통합환경 및 함수구성이 차후 도시지

하철도용 범용 프로그램과 결합하여 사용할 수 있도록 모듈(Module)화 함수로 구성되어, 확장성과 이식성을 확보한다.

## 3. 전문가시스템과 KNOWLEDGE-BASE APPROACHES

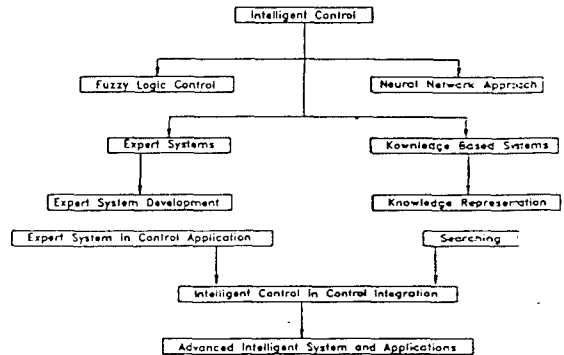


그림 2. Expert System and Knowledge base approaches

본 연구인 Box-Culvert 설계를 위한 통합환경(Dr. Culvert)은 단순히 계산작업의 한계를 넘어 입력(input), 분석(analysis), 단면력 Display, 철근량산출, 도면 Drawing, 출력(Printing)과정을 ICS(Intelligent Control System)에 의해 각 MES(Module Execution Software)와의 CS(Communication System), 그리고 해석자료의 DBMS(Data Base Management System), DSS(Data Searching System), ODDS(Optimal Data Decision System), DOS(Display Option System)을 바탕으로 사용자와 상호 대화식의 접근방식을 구현하고 있다. 그림 2에서 언급한 ES의 분야의 세부적 사항은 다음과 같다.

#### 1) ICS(Intelligent Control System)

전반적인 각 System의 제어하여, 운영자의 의도를 반영하여 최적의 판단 및 결정의 과정까지 각 과정을 수행하는 총괄할 시스템이다.

#### 2) MES(Module Execution Software)

목적(Object)수행을 실행하는 각 모듈별로 구성된 실행소프트웨어를 뜻한다.

#### 3) CS(Communication System)

처리과정이나 판단과정에 필요한 Data를 제어하기 위한 통신시스템이다.

4) DBMS(DataBase Management System)

판단 또는 결정시스템에 필요한 Database를 구축하고, 효율적으로 Database를 관리하는 시스템이다.

5) DSS(Data Searching System)

Database의 자료검색을 제어하는 시스템이다.

① ODDS(Optimal Data Decision System)

구축된 Database로 부터 입력함수의 제어범위에서 최적의 Data를 결정 또는 유도하는 시스템이다.

6) DOS(Display Option System)

ES의 구성환경장치, 도구(Tools) 및 조작환경을 운영자(Operator)에게 알리는 시스템이다.

$R^{k+1}$  If Condition  $C^1$ , Then Restriction  $R^{k+1}$   
 $R^{k+1}$  If Condition  $C^1$ , Then Restriction  $R^{k+1}$   
 .  
 .  
 $R^{k+1}$  If Condition  $C^1$ , Then Restriction  $R^{k+1}$

Chart 1 The Canonical Form of a Set of Expert Rules

If X is  $A^1$ , Then Y is  $B^1$   
 If X is  $A^2$ , Then Y is  $B^2$   
 If X is  $A^r$ , Then Y is  $B^r$

Chart 2 FRBES describing the System S

3.1 전문가시스템(EXPERT SYSTEM)

1) 전문가시스템(ES)의 구성

ES는 2가지 Software-Modules로 구성되어 있다.

첫째, The Knowledge Base으로 전문적인 정보와 경험등으로구성된 Database를 말한다.

둘째, The Inference System : Assumption, Rules, 그리고 Logical Thought 과정을 통해 문제의 Solution, Decision, Diagnosis을 내리는Control-Software 부분이다.

2) 전문가시스템(ES)의 논리(Logic)



그림 3 A Block Diagram fo P-input & M-output System

$R^1$                       Restriction  $R^1$   
 $R^2$                       Restriction  $R^1$   
 .  
 .  
 $R^k$                       Restriction  $R^k$

전문가시스템의 논리는 그림 3에서와 같이 입력자료(P-Input)과 출력자료(M-Output) 사이의 System를 구성하는 부분이다. System의 논리(Logic)는 Chart 1과 Chart 2와 같다. 이것은 본 연구에서 적용한 고전적인 Fuzzy 논리회로를 나타내고 있다.

3.2 KNOWLEDGE-BASE APPROACHES

KBA(Knowledge Base Approaches)는 전문적 과정과 Data 구성의 정보처리 시스템이며, 계산 과정의 처리보다 정보의 명확한 전문적 표시 과정을 수행하는 프로그램이다. 따라서 ES(Expert System)은 특별한 전문 영역의 전문지식을 겸비한 KBA로 표현된다. 여기서 전문지식(Expert Knowledge)은 전문가인 인간의 판단, 결정을 수행할 수 것으로 Database에 저장되며, Expert System과 서로 Data Communication를 할 수 있는 DCS(Data Communication System)을 갖춘다. DCS(Data Communication System)은 DMS(Data Management System)에 의해 제어되며, DSS(Data Searching System)에 Control Function을 I/O(Input/Output) 한다. 본 연구에서는 Dr. Culvert와 Dr. Plotter, Dr. Printer 사이에서 전문적인 Data 전달 및 Database에 Data 저장, Database 탐색이 Dr. Culvert에 의해 관리 및 제어된다.

### 3.3 단면결정 전문가시스템(ES I)

암거설계 단면은 입력작업 과정에서 단면상수와 설계하중등의 입력자료에 대해서 과대 및 과소 단면이 발생할 수 있다. 따라서 단면제원의 입력에 대한 최적의 단면제원 판단 및 결정이 필요하다. 이를 단면결정 전문가 시스템이라 한다. 단면결정 전문가시스템은 다음과 같이 구성된다.

#### 1) 결정변수(Variable)

- 단면의 두께, 철근뎡개

#### 2) 목적함수(Object Function)

- 최소/최대철근비 규정 만족

#### 3) 제약조건(Restriction)

- 상부슬래브와 축벽의 최소두께는 20cm 이상이다.
- 저판의 최소두께는 25cm 이상이다.
- 최소/최대철근비를 만족하는 단면이어야 한다.
- 최종판단은 설계자에게 둔다.

#### 4) 최적단면결정(Optimal Section Decision)

최적단면결정(Optimal Section Decision) 과정은 단계적으로 단면 결정변수를 수정하여 입력된 결정변수가 목적함수와 제약조건을 만족하는 범위에 이를때까지 반복하여 최적의 단면결정변수를 결정한다.

### 3.4 철근량결정 전문가시스템(ES II)

구조계산으로부터 계산된 철근량은 사용철근 종류와 철근배근간격의 결정에 따라 설계 철근량과 차이를 나타낸다. 이러한 원인은 철근배근에 따른 시공성과 작업의 효율성을 설계에 고려하기 때문이다. 따라서, 구조계산에서 계산된 철근량으로 부터 설계 철근량을 결정하는 전문가 시스템을 철근량결정 전문가시스템(Steel-Amount Decision System)이라 한다. 철근량결정 전문가시스템은 다음과 같이 구성된다.

#### 1) 결정변수(Variable)

- 철근종류 : D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, D35
- 배근간격(cm) : 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 30, 40

#### 2) 목적함수(Object Function)

- 시공성 : 철근의 배근간격으로 배근간격이 클수록 시공성은 좋다.
- 안전성 : 철근의 직경이 작을수록 휨부 착효과가 커서, 구조물의 안전성은 좋다.

#### 3) 제약조건(Restriction)

- 주철근은 D16이상의 철근을 사용한다.
- 보조철근 및 가외철근은 D13을 사용한다.
- 설계 제한철근비 규정을 만족한다.
- 결정변수 중 철근배근간격(C.T.C)에 우선순위를 둔다.
- 최종판단은 설계자에게 둔다.

#### 4) 데이터베이스(Database) 구축

철근량 결정시스템은 결정변수와 목적함수와 의 관계인 표 1의 자료를 사용하여, Database를 구축한다.

호 칭	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32	D35	
지름(mm)	12.7	15.9	19.1	22.2	25.4	28.6	31.8	34.9	
단면적(cm <sup>2</sup> )	1.267	1.986	2.865	3.871	5.067	6.424	7.942	9.566	
철근 간격 C.T.C (cm)	10	12.67	19.86	28.65	38.71	50.67	64.24	79.42	95.66
	12.5	10.14	15.89	22.92	30.97	40.54	51.39	63.54	76.53
	15	8.45	13.24	19.10	25.81	33.78	42.83	52.95	63.77
	17.5	7.24	11.35	16.37	22.12	28.95	36.71	45.38	54.66
	20	6.34	9.93	14.33	19.36	25.34	32.12	39.71	47.83
	22.5	5.63	8.83	12.73	17.20	22.52	28.55	35.30	42.52
	25	5.07	7.94	11.46	15.48	20.27	25.70	31.77	38.26
	30	4.22	6.62	9.55	12.90	16.89	21.41	26.47	31.89
	40	3.17	4.97	7.16	9.68	12.67	16.06	19.86	23.92

표 1 이형철근의 철근간격과 1m당의 철근단면적

#### 5) 검색 및 정렬 함수(Searching & Sorting Function)

- 검색 변수 : 철근종류, 철근배근간격(C.T.C)
- 정렬 목적 : 기준철근량에 대한 최소우위비 교판단의 만족성(최적성)

#### 4. 결론

1) 독자적인 Package 소프트웨어의 기능을 수행하므로써, 기존의 CAD시스템이나 기타 상품화된 Software의 도움없이 자체의 통합환경을 수행한다. 특히, 출력과정에 대한 함수를 이용하여 구조계산서 및 설계도면자료 그리고 현재 수행화면을 바로 Laser와 Deskjet Printer로 출력할 수 있다.

2) Preprocessing의 그래픽 입력작업함수를 갖추지 못한 JCL(Job Control Language)방식은 많은 시간과 입력작업의 어려움이 있다. 그러나, 본 연구의 Dr. Culvert는 그래픽 입력방식으로 입력작업이 용이하고 설계자의 입력 Data 실수에 대한 Error Message를 출력하여 입력작업의 편리성과 시간 단축 그리고 효율적인 입력 Data 관리를 수행할 수 있다.

3) 구조해석 결과를 Screen으로 바로 볼 수 있어 설계의 변경에 대한 빠른 판단을 할 수 있다. 또한 재설계시 참고자료를 바로 출력하여 비교 자료로 사용할 수 있다.

4) 단면제원의 입력에 대한 최적 단면제원의 판단 및 결정을 수행하는 단면결정 전문가시스템의 구축은 설계시 최적단면설계를 수행할 수 있다.

5) 사용철근종류와 배근간격에 대한 철근량결정 전문가시스템의 구축으로 최적설계를 수행할 수 있다. 따라서, 구조적 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 설계를 수행한다.

6) 구조계산서와 설계도면자료는 바로 출력할 수 있어서, 설계과정의 절차를 쉽게 이해 할 수 있다. 또한, 구조계산서와 설계도면자료는 설계자료로 즉시 사용 할 수 있다.

7) 차후, 범용 프로그램과 결합하여 사용할 수 있도록 Module화 함수로 구성되어, 확장 및 보강이 용이하다. 차후, 도시지하철도 설계용 확장 프로그램을 구축하기 위한 기본적인 연구로서의 역할을 수행하였다.

8) 앞으로 보완할 사항은

- 입력함수 사항,
- 분석함수 사항,
- 그래픽처리함수 사항,
- 출력함수 사항,

- 도움말함수 사항,
- 범용 모듈화함수의 구축, 과 같다.

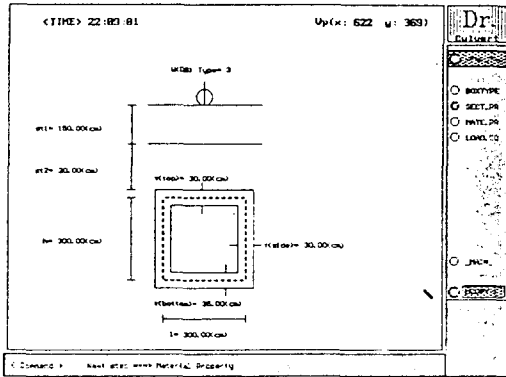
끝으로, 본 연구는 지하도시철도구조물의 설계에 적용하기 위한 기초적인 연구단계로 수행되었다. 따라서, 위의 보완사항을 보완하여 더 복잡한 도시지하철도용 범용 프로그램 모듈(Module)의 개발이 필요하다.

#### <참고문헌>

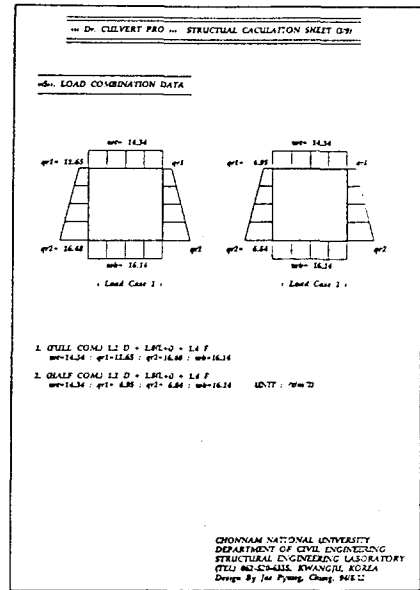
- [1] William Weaver, Jr. & James M. Gere, "Matrix Analysis of Framed Structures", D. Van Nostrand Company, 1990.
- [2] Jack Purdum, "C Programmer's Toolkit 2nd Edition", Que Coperation, 1992.
- [3] 안 현순, "터보 C로 구현한 과학기술계산 프로그래밍", 가남사, 1992.
- [4] Andrew Binstock, David P. Babcock & Marv Luse, "HP Laserjet Programming", Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [5] Mohammad Jamshidi, Nader Vadiie, Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic and Control Software & Hardware Applications. Volume 2", Prentice-Hall International Inc., 1993.
- [6] 양 진석, "PC Graphic File Programming", 정보문화사, 1993.
- [7] 김 영한 편저, "CAD Graphics in C", 정보문화사, 1991.
- [8] Lee Adams, "High Performance CAD Graphics in C", 1991.
- [9] 건설부, "철근콘크리트설계편람", 대한토목학회, 1993.
- [10] 건설부, "도로교표준시방서", 1993.
- [11] 한국도로공사, "도로설계요령", 1993.
- [12] 한국도로공사, "고속도로건설공사 표준도. 제 2권 <암거공>편", 1992.
- [13] AASHTO, "AASHTO LRFD Bridge Design Specification", 1994.
- [14] 보울즈 저, 강 재순 譯, "기초구조물의 설계와 해석", 엔지니어즈, 1993.

<별첨 1> Dr. Culvert의 구성화면

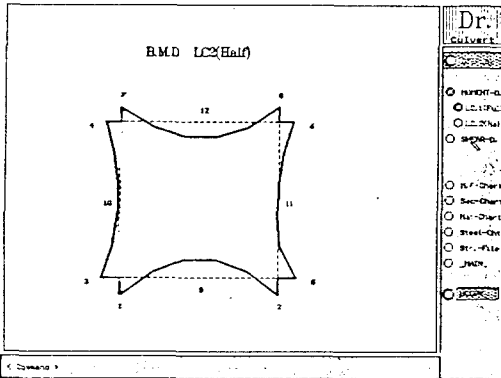
<별첨 2> 구조계산서 및 설계도면자료



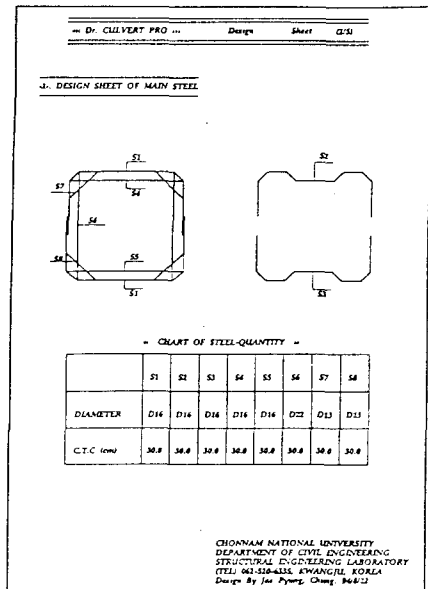
<암거설계의 입력작업>



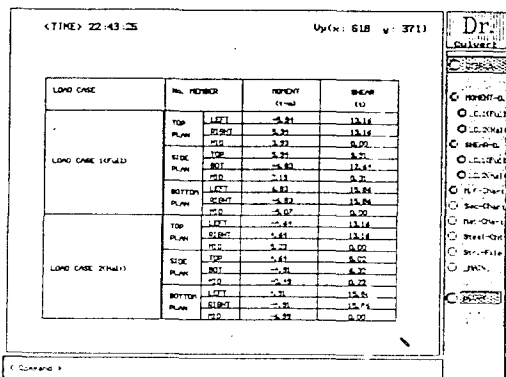
<암거설계의 하중조합>



<모멘트도 출력>



<주철근 조립도>



<설계단면력 Chart>