철도암거 자동화 설계

An Automated Design Technique of Box Culverts for the Railroad

김진구* , 이종민** , 조선규***

Kim, Jin-Goo Lee, Jong-Min Cho, Sun Kyu

Abstract

A concrete box culvert has been widely used as a typical structure in case of crossing the railroad and highway. Due to the simplicity of it's own shape, in company with the development of computers many studies on the computer-aided automatic design have been continuously carried out. In this paper, an automated design algorithm has been proposed by the analysis of the existed design data of box culverts. From a viewpoint of the users, a data base system has been constructed to carry out the total design process completely through the minimum input data and by means of direct input method on the monitor screen. And an automatic design program for railroad box culverts, in which one-stop process from the structural calculation to the quantity estimation is possible, has been developed.

1. 서론

철도나 도로에서 하부공간을 횡단하는 형태로서 널리 적용되고 있는 구조물은 콘크리트 암거이다. 이와 같은 암거 구조물은 형태의 단순성으로 인해 전산기기의 발달과 함께 자동화 설계에 대한 시도가 본격화되어 끊임 없는 연구가 이루어져 왔다. 그 결과 현재 도로분야에서는 암거 자동화 프로그램의 성과가 부분적으로 적용되고 있는 반면 철도 분야에서는 아직도 수작업이나 표준도에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 철도구조물로서의 특성과 설계기준 및 기존의 암거설계 성과에 대한 분석을 통해 구조해석에서부터 단면설계, 구조물도 작성, 수량산출까지의 전 과정에 대한 일괄설계가 가능한 철도암거 자동화설계 알고리즘을 개발하였다. 설계기준 분석에 있어서는 철도설계기준에 의거 하였으며, 구조해석에 있어 설계기준의 도입여부 및 일부 모호한 항목에 대해서는 분석을 수행하여 합리적인 모델링 기법을 개발하고 또한 구조물도 작성을 위한 구조세목 항목의 추출을 통해 일관된 설계방법을 제시하였다.

2. 암거구조와 해석모델

2.1 해석모델 및 경계조건

1) 해석모델

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 02-521-8430, udeng@chollian.net

** 서울산업대학교 산업대학원 석사과정, 02-970-6512, scmin988@hanmail.net

*** 서울산업대학교 조교수, 공학박사, 02-970-6512, skcho@snut.ac.kr

암거는 구조 형태상 박스 라멘으로 구조해석시 2차원 뼈대구조로 해석을 하며 이때 단면의 폭은 단위폭을 적용하여 해석한다. 구조해석 모델의 축선은 부재단면의 도심축선으로 하며 도심축선은 균열을 무시한 전 단면을 유효한 것으로 본다. 또한 절점부, 특히 큰 헌치가 있는 경우에는 강역을 고려하여 구조해석을 수행한다.

2) 경계조건 선정

합리적인 지반반력의 특성을 나타낼수 있는 경계조건의 선정을 위하여 다음과 같은 2련 암거를 선택하여 3가지의 경계조건에 대해서 구조해석을 수행하였다.

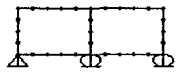
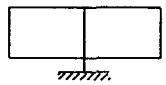
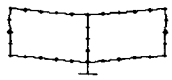
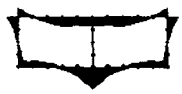
	CASE Ⅰ	CASE Ⅱ	CASE Ⅲ
모델링			
처짐도			
휨모멘트도			

그림 1. 경계조건에 따른 처짐도 및 휨모멘트도

그림 1의 처짐도에서와 같이 CASEⅡ에서는 지반반력의 영향으로 인해 외측벽체에서 상향 처짐이 발생하여 실제 구조물의 거동과는 상이함을 알수 있다. 따라서 CASE Ⅰ과 Ⅲ을 비교하여 경계조건을 선정 하였다. CASE Ⅰ의 경우는 양측의 벽체하부에 롤러와 힌지를 경계조건으로 배치한 경우이다. 이때 연직방향으로 작용하는 하중과 동일한 크기의 하중을 하부 슬래브에 상향으로 분포시켜 재하함으로서 지반반력의 영향을 고려해 줄 수 있다. CASE Ⅲ의 경우에는 지반의 지지 조건을 스프링 강성으로 처리하여 지반반력의 영향을 고려해준 것으로서 이때 스프링 상수를 계산하기 위해서는 지반반력계수를 지지기반의 토질조건에 따라 산정하여야 한다. 따라서 특수한 지반조건이 아닌 경우 처짐형상과 단면력의 차이가 CASE Ⅲ과 크지 않으며, 또한 최소한의 입력조건으로 프로그램을 구성하기 위해서 하중의 재하만으로도 지반반력의 영향을 고려해 줄 수 있는 CASE Ⅰ을 구조물의 해석 경계조건으로 선정하였다.

2.2 작용하중 및 하중조합

1) 작용하중

암거설계시의 작용하중은 철도설계기준에서 제시하고 있는 다음 값으로 적용하였다.

표 1.작용하중

구 분	내 용		비 고
1) 고정하중	암거의 자중	$\gamma_c = 2.5\ tonf/m^3$	
	자갈도상 하중	$\gamma = 1.9\ tonf/m^3$	보선작업 과정을 고려 30% 할증
	레일 및 침목	$\gamma = 0.3\ tonf/m^3$	(유도상인 경우)
		$\gamma = 0.7\ tonf/m^3$	(무도상인 경우)
	복토하중	$\gamma_s = 2.0\ tonf/m^3$	

구 분	내 용		비 고
2) 활하중	1급선	LS-22	적용기준 : 분포폭을 고려하여 바닥판과 같은 방법으로 재하
	2급선	LS-22	
	3급선	LS-18	
	4급선	LS-18	
3) 충격하중	· 활하중과 같이 분포되는 것으로 고려, 박스측면의 측압에 가중되는 충격력은 없다고 본다.		
4) 횡토압	· 고정벽에 작용하는 횡방향 토압식 $P_o = K_o \gamma z + K_o q$ P_o : 깊이 z 에서의 정지토압 K_o : 정지토압계수		$K_o = 1 - \sin \phi$ (ϕ = 흙의 내부마찰각)

일반적으로 철도구조물에 사용되는 암거는 암거 축조후 구조물 위로 성토를 하여 철도가 횡단하기 때문에 암거에 작용하는 하중으로 지하수의 영향은 고려하지 않는다.

2) 주요하중조합과 하중계수

암거에 작용하는 하중은 고정하중, 활하중, 토압 등이 있고 하중계수 및 하중조합에 따라 가장 불리한 조건에 대해 설계하도록 하였다.

U = 1.4 D + 1.7 H (1)
U = 1.4 D + 2.0 (L + I) + 1.7 H (2)
U = 1.4 D + 2.0 (L + I) + 0.6 H (3)

여기서, D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력 I : 충격 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력 H: 토압 또는 이에 따른 단면력

2.3 단면설계

단면설계는 철도설계기준과 콘크리트설계기준에 따라 강도설계법으로 휨과 전단에 대해 설계하였으며 사용성 검토로는 균열폭과 우각부에 대해 허용응력법으로 검토하였다.

3. 자동화 설계기법

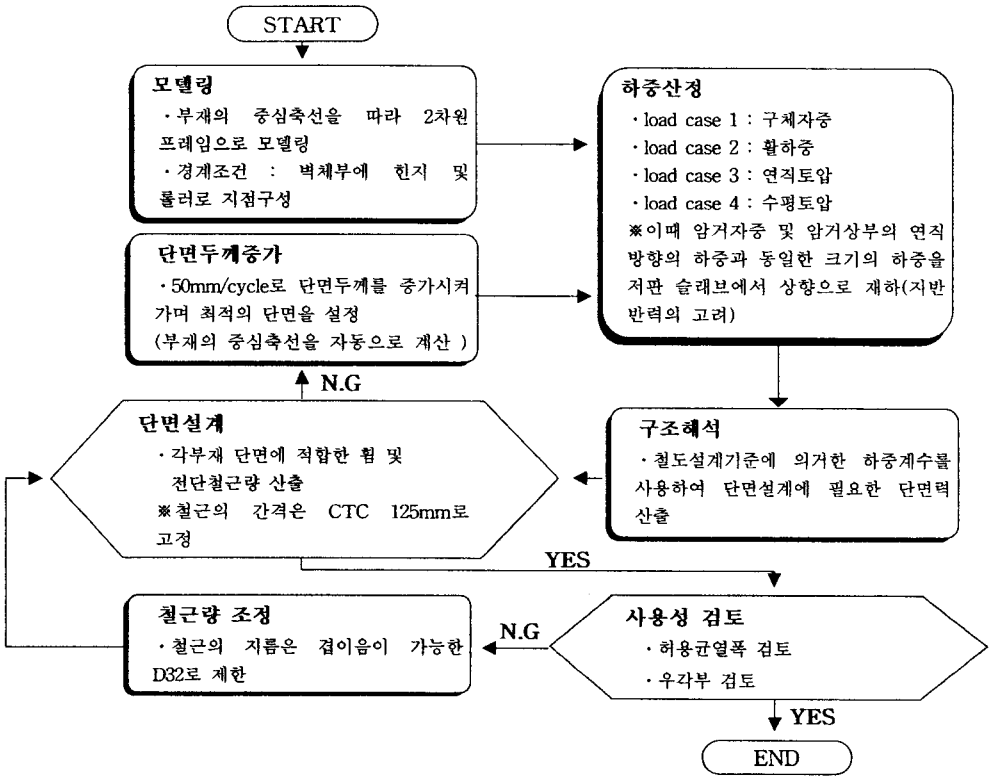
프로그램의 자동화를 위해 자료입력, 구조해석 및 단면설계, 물량계산, 도면작도등 총 4단계로 구분하였으며 이는 다음과 같다.

1) 자료입력

기본 입력사항으로는 BOX 종류(수로 및 통로암거), 내공 련수(1련~3련), 토피고, 암거의 내공폭 및 내공높이, 내외측 철근덮개등으로 선정하였으며, 기타 가정 단면두께(기본값 300mm), 활하중 및 재료의 단위중량 등은 초기에 입력하는 방법으로 구성하였다.

2) 구조해석 및 단면설계

자동화설계 1단계로서 입력된 기본자료를 바탕으로 철도암거 구조물에 대한 구조해석 및 단면설계를 수행하게 된다.



3) 물량계산

구조해석 및 단면 설계에 의해 필요한 각 부재의 두께 및 철근량이 산정되면 설계자의 명령에 따라 암거 단위길이당의 수량을 산출하는 과정을 거치게 되고 이 자료는 도면작성시 수량으로 표현되게 된다.

4) 도면작도

암거련수에 따라 일반도 및 배근도를 작성하게 되며, 이는 AUTOCAD의 LISP 명령으로 처리되고, 자동적으로 DWG file format으로 저장되게 되며, 암거 계산에 필요한 일련의 과정이 마무리 되게 된다.

4. 자동화 설계프로그램의 구성 및 개요

본 프로그램은 크게 4단계의 Module로 구성된 Main-Processing Routine과 2개의 Post-Processing Routine으로 구성되어 있으며 개략적인 설명은 다음과 같다.

1) Main-Processing

- 하중계산 : 주어진 기본적인 설계조건 하에서 각 단면의 토압 계산 및 구조해석에 필요한 데이터를 형성한다.
- 구조계산 : 강도설계법에 의한 Frame 해석을 수행한다.
- 단면검토 : 주어진 조건하에서 최적의 부재단면, 철근량 산정 및 적절한 철근재원 배치를 선정한다.
- 사용성 검토 : 사용성 및 우각부를 검토하여 적절한 철근재원 배치를 선정한다.

2) Post-Processing

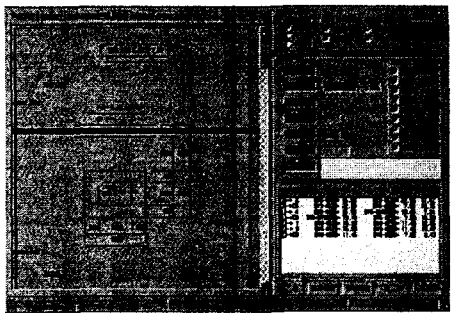
- 물량계산 : 단면검토 및 사용성 검토에서 생성된 각 단면 및 철근재원 데이터를 이용하여 물량 계산 및 도면작도에 필요한 데이터를 생성한다.
- 도면작도 : 물량계산시 생성된 데이터를 이용하여 암거 일반도 및 철근상세도 도면작도를 수행한다.

3) 본 프로그램의 개발 및 사용환경

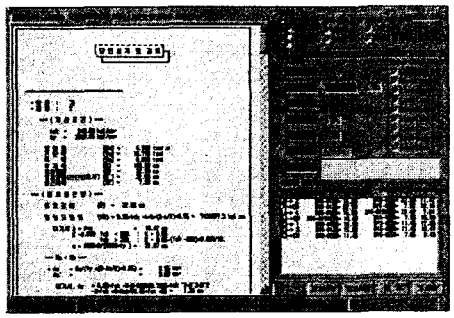
개 발 환 경		사 용 환 경	
운영체제	MicroSoft Windows98	장비사양	P-IRAM(32M이상), HDD(50M 이상)
개발도구	Visual Studio 6.0, AutoLisp	운영체제	MicroSoft Windows95/98/ME/XP/2000

4) 프로그램 기능

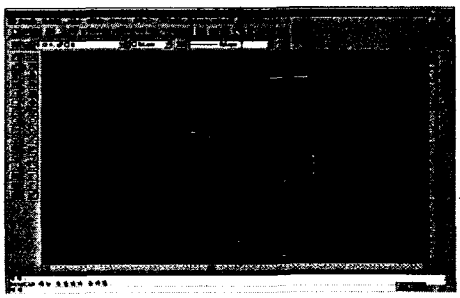
- 본 프로그램은 최소한의 기본 데이터 입력 및 암거구조에 작용하는 소요강도에 저항하는 최소단면을 이용하여 최적의 단면설계 및 철근재원을 자동으로 생성하도록 하였다.
- 본 프로그램에서 설계 가능한 암거형태는 1, 2, 3련으로 제한하였으며 작업자의 별도작업 없이 자동으로 도면을 생성할 수 있도록 구성하였다.
- 도면생성은 CAD 프로그램인 AutoCAD 및 도면작도에 필요한 프로그램을 ARX형태로 개발하여 사용하였다.



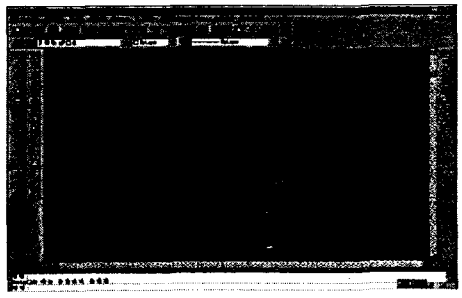
a.하중계산



b.단면설계



c.암거일반도



d.철근상세도

그림2 .자동화설계 프로그램

5. 프로그램의 신뢰성 검증

본 프로그램의 신뢰성을 검증하기 위하여 토목구조물에 일반적으로 많이 사용되는 1연 암거를 선정하여 동일한 하중조건과 단면에 대해서 범용구조해석 프로그램인 SAP2000의 단면력과 비교하였으며 또한 각 부재위치에서의 필요 철근량을 검토하였다. 이때는 최대·최소 철근비에 만족하는 소요 철근량을 계산하여 프로그램에서 제시한 철근량과 비교·검토하였다.

표 2. 단면력 및 철근량 비교

	본 프로그램에서의 단면력(tonf·m)	SAP 2000에서의 단면력(tonf·m)	소요철근량 (cm^2)	사용된 철근량 (cm^2)
벽체 하부	6.958	6.37	12.65	D16-@125=15.90
벽체 상부	6.058	6.21	10.47	D16-@125=15.90
상부슬래브 중앙부	12.462	12.30	16.69	D16+D19@250=19.40
하부슬래브 중앙부	13.503	13.67	18.16	D19-@125=22.90

SAP2000에서 계산된 단면력과 비교해본 결과 -0.59~+0.22 tonf·m정도의 미소한 오차가 발생하였으며 사용된 철근량은 모두 소요 철근량 이상으로 산출 되었다.

5. 결론

본 논문에서는 철도구조물에 사용되는 암거의 자동화 설계에 대한 설계기법을 제시하고자 하여, 경계조건의 선정방법 및 자동화의 선정 범위, 그리고 설계기준의 적용방법 등을 제시하였다. 또한 프로그램을 개발하여 현재 널리 사용되고 있는 범용 구조해석 프로그램과의 비교·검토를 통해 그 효율성을 확인하였다. 이와 같은 단순 구조물의 설계 자동화는 구조물 설계시 많은 시간과 인력을 줄일 수 있기 때문에 앞으로도 더욱 많은 구조물에 대해서도 자동화 설계가 이루어 져야 할 것으로 판단되며, 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 구조해석 과정에서 내공치수만 부여한후 각부재의 단면변화에 따른 부재축선의 변화를 자동으로 모델링하는 기법을 설정하였다.
2) 단면 설계 과정에서 단면 두께의 순차적 변화기법 적용으로 최적의 단면을 선정하였다.
3) 범용 구조해석 프로그램과의 단면력 비교시 상대오차가 약 8.5%이내의 범위로서 프로그램의 신뢰성을 확보하였다.
4) 도면작도는 AUTO CAD의 LISP명령을 이용하여 자동화 도면 생성기법을 완성하였다.
5) 최소의 입력조건으로 구조해석 과정에서부터 도면작성 작업까지의 과정을 컴퓨터 명령기능으로 일괄처리하는 자동화 기능의 체계를 확립하였다.

참고문헌

1. 철도설계기준-철도교편(1999), 대한토목학회
2. 철도설계기준-노반편(2001), 철도청
3. 콘크리트 구조 설계기준(1999), 한국콘크리트학회, 대한건축학회
4. 고속도로 암거 설계기준(1999), 한국도로공사
5. Microsoft Visual Studio Core Reference Set,Microsoft Professional Editions(1998),Microsoft Press
6. Developing Applications with Visual Studio .NET(2002),Addison Wesley Professional
7. Autolisp Programming: Principles and Techniques(1998),Goodheart-Willcox Co
8. Using Autolisp With Autocad(1998),Butterworth-Heinemann