

강합성상형교 설계를 위한 전·후처리 시스템 개발 Pre/Post Processors for the Design of Steel Box Girder Bridges

정 영 식* 정 현 태**
Chung, Young-Shik Chung, Hyeon-Tae

ABSTRACT

This paper discusses the development and use of an integrated system for the design of steel box girder bridges. The system includes pre/post processors designed particularly for the ease of use by adopting GUI(Graphical User Interface). They offer convenient facilities for the management of design data and thus enable the user to draw satisfactory structural designs. In particular, ease of redesign iterations makes better structures possible in this system.

1. 서 론

지난 몇년동안 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어의 괄목할 만한 발전은 사용자가 원하는 정보를 더욱더 쉽게 얻을 수 있게 하였고 업무처리 효율 또한 증대시킬 수 있는 기반을 마련해 주고 있다. 그러나 구조설계실 무자들은 강합성상형교를 설계하는 데 있어 이러한 컴퓨터를 충분히 활용하지 못하고 과거의 습관적인 업무 처리 방법에 정체되어 다양한 설계업무처리과정을 수작업과 출처가 분명하지 않은 빈약한 프로그램의 조합으로 설계를 이끌어 내고 있다. 이와 같은 업무처리 시스템은 만족할 만한 설계에 접근하기 위해 여러 번의 재설계와 검토를 거쳐야 하는 구조설계문제의 특성상 설계소요 시간이 길어질 뿐만 아니라 수년 후 시공자와의 마찰로 발생하는 설계 재검토 문제해결을 위한 설계Data 관리 면에서도 설계당시의 참여기술자들과의 Communication⁶⁾ 문제를 야기시키고 있다. 그리고 과거에 개발된 프로그램들의 Document는 개정된 도로교시방서를 참고하고 있지 않아 1996년 개정된 도로교시방서의 설계지침을 반영하지 못하고 있다. 최근 들어 이러한 문제점을 해결하기 위해 설계업체에서 자체적으로 설계프로그램을 개발하거나 스프레드시트 계열의 소프트웨어를 사용하여 정적인 설계를 시도하고 있지만 수계산 부분을 줄여주는 정도이므로 강합성상형교 설계 전반에 걸친 업무 수행에는 효율적으로 대처하기에 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 현재 많은 시공이 이루어지고 있는 강합성상형교의 상판을 설계하는데 있어 설계실무자의 경험과 지식 및 개정된 시방서를 바탕으로, Analysis를 위한 단면계량과 재하하중을 산출하는 전처리 과정을 비롯하여 Analysis 결과에 따르는 각 단면력으로 주형과 각종 보조재를 설계하는 후처리과정을 수행할 수 있는 통합된 설계시스템의 개발을 목표로 하였다.

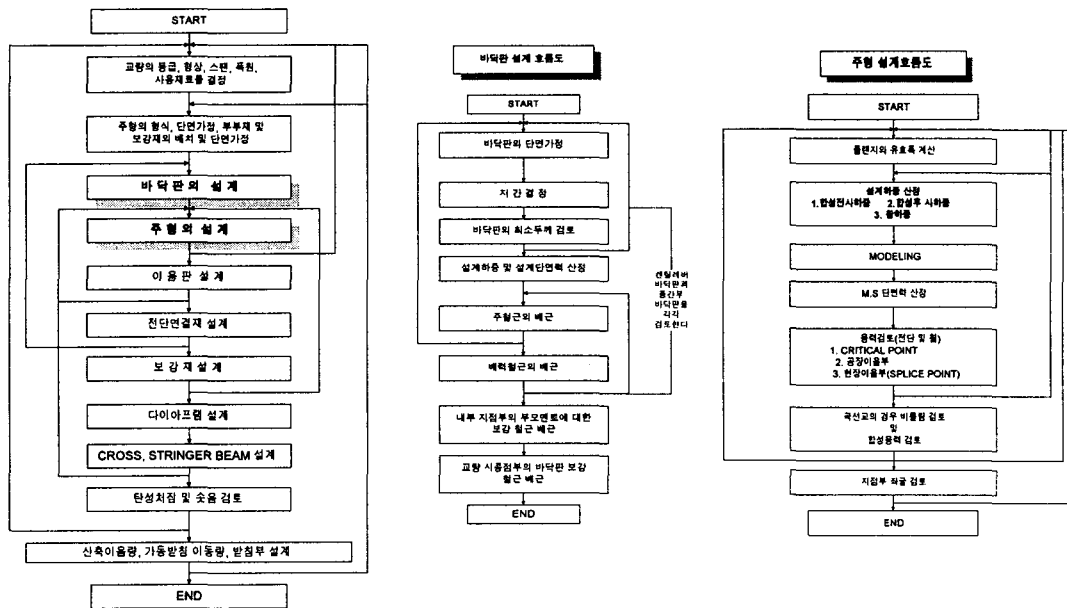
그러므로, 설계전문가 뿐만 아니라 초심자도 설계에 쉽게 접근 할 수 있고 재설계를 용이하게 하며 비록 설계에 참여하지 않은 기술자라 할지라도 설계 재검토시 상호의견 교환이 쉽도록 GUI(Graphic User Interface)를 구축하였으며 계산처리 Module에 의한 Document 또한 설계수행 종료후 바로 실시설계보고서에 이용될 수 있도록 개발하였다.

* 울산대학교 토목환경공학부 교수

** 울산대학교 토목환경공학부 석사과정

2. 강합성상형교의 설계 시스템³⁾

강합성상형교의 설계는 [그림 1]에서와 같은 시스템으로 설계가 이루어진다. 이러한 흐름은 본 연구에서 구축한 시스템의 기초적인 모델이 되었고 수십 개의 입력Class와 설계수행 Module을 연결시키는데 있어 중요한 역할을 하게된다. [그림1]은 설계업무처리의 흐름을 간략히 보여주고 있는 것으로서 교량의 등급, 형상, 스패, 폭원 및 사용재료의 결정에서부터 단면가정, 바닥판 및 주형의 설계와 기타 보조재의 설계에 이르기까지 많은 재설계가 따른다는 것을 알 수 있다.



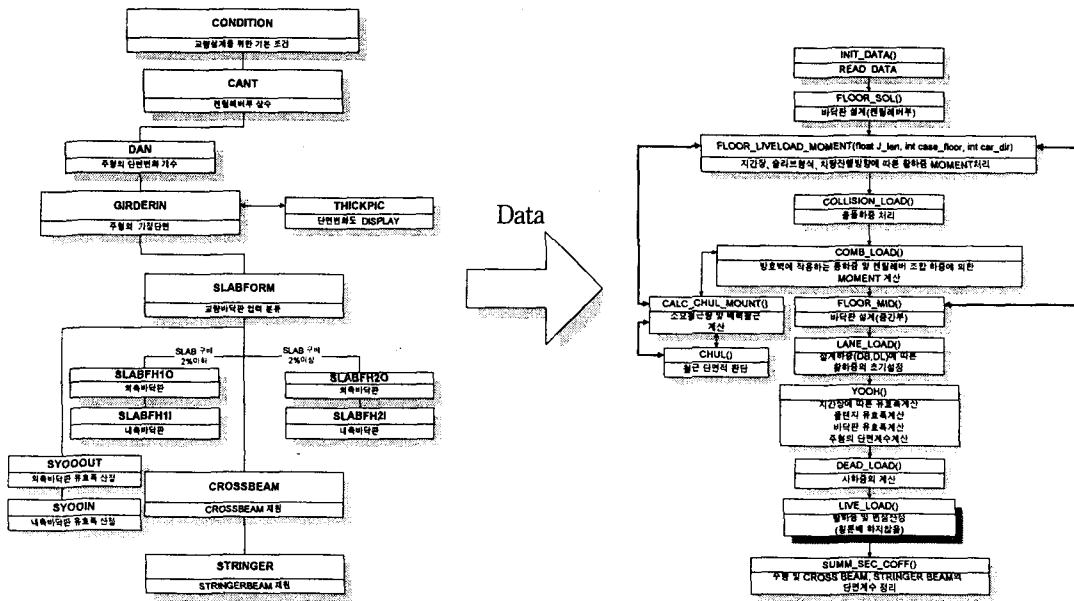
[그림 1] 강합성상형교의 설계 시스템

3. 전·후처리 통합설계 시스템의 개요

본 연구에서 개발된 통합설계 시스템은 [그림 1]에서 보인 설계 흐름을 기초로 각 설계 단계를 구분하여 비록 설계업무에 참여하지 않은 사용자라 할 지라도 쉽게 교량의 특성을 파악하고 설계 Data의 입력 및 수정이 가능하도록 GUI(Graphic User Interface)를 구축하였으며 전처리 및 후처리의 설계 수행 Module을 통합함으로써 전 단계의 입력자료와 설계에서 얻어지는 결과를 다음 단계의 설계에 계속 적용 시켜 나갈 수 있어 분산된 프로그램이나 정적인 계산을 하는 스프레드시트에서 처럼 한번 입력한 Data를 다시 입력하거나 다음 단계의 설계를 위해 이전 단계의 설계결과를 입력Data로 작성 할 필요가 없어 설계수행을 위한 최소의 입력작업을 가능하게 하였다. 또한 설계 전 과정에 연관되어지는 입력 Data를 하나의 파일로 관리하여 사용자가 작업한 교량의 검색에 있어 편의를 도모하였고 설계수행 후 통합설계 시스템내에서 그 결과를 즉시 편집기를 통해 확인하는 것이 가능하여 재설계의 시간을 단축시킬 수 있게 되었다.

3.1 전처리를 위한 입력 Class 및 설계수행 Module

전처리를 위해 구축된 입력 Class와 Module은 [그림 2]와 같다. 사용자는 [그림 2-(a)]의 입력 Class를 통하여 설계자료를 쉽게 파악하고 입력할 수 있으며 [그림 2-(b)]의 Module을 실행하여 설계 결과를 확인할 수 있다. 이에 따르는 각 Class와 Module의 주된 특성들은 다음과 같다.



(a) 전처리 입력 Class (b) 전처리 설계수행 Module
 [그림 2] 전처리 입력 Class 및 설계수행 Module

1) CONDITION 입력 Class

본 연구에서 구축된 CONDITION 입력 Class에서는 교량의 이름, 총폭, 길이 및 설계에 사용되어질 콘크리트의 탄성계수와 압축강도, 철근의 항복강도를 입력하고 사용 재료의 단위중량을 정의한다. 사용자의 편의를 위해 자주 사용되어지는 값을 기본 값으로 이미 정의 해두었기 때문에 변경사항이 있을 경우에만 수정을 하면 된다.

2) GIRDERIN 입력 Class

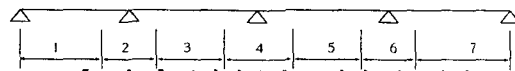
주형의 가정단면을 입력하기 위한 것으로 상·하부 플랜지의 두께변화에 따른 주형의 길이와 단면의 재원을 입력한다. GIRDERIN 입력 Class를 통하여 주형 Web부의 높이 조절이 가능해 변단면 교량의 설계에 대처할 수 있도록 하였다. 이 입력 Class는 THICKPIC Class를 통하여 상·하부 플랜지의 두께 변화도를 변화 구간에 따라 시각적으로 확인 할 수 있다.

3) CALC_CHUL_MOUNT() 설계수행 Module

바닥판의 캔틸레버부와 중간부의 소요철근량과 배력철근을 산정하기 위한 Module로서 강도설계법을 이용한다. 이 Module은 바닥판에 작용하는 각 하중을 조합한 설계하중을 이용하여 바닥판의 단위폭, 높이, 유효깊이등을 설계Data로 취한 후 사용철근량을 계산한다. 특히, 중간부의 계산에서는 휨모멘트가 최대가 되는 계산시간을 판단하도록 하여 사용자가 계산시간을 입력하는 번거로움을 없앴다.

4) YOOH() 설계수행 Module

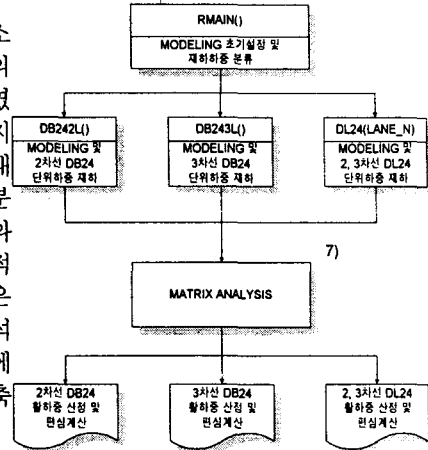
교량의 스패에 따라 등가지간장을 산정하고 플랜지의 유효폭 및 바닥판의 유효폭을 구한다. 구해진 유효폭을 이용하여 앞서 가정한 주형단면과 슬래브의 합성전·후의 단면계수를 계산한다. 등가지간장의 산정을 위하여 전처리시스템은 [그림 3]과 같이 지간장 구간을 구분하는 번호를 부여하는데 이 구분번호는 후처리시 정·부모멘트 구간을 인식하는 중요한 인자가 된다. 구분번호는 지간의 좌측에서 오른쪽으로 증가되는데 짝수로 부여되는 번호를 부모멘트 구간으로 처리한다.



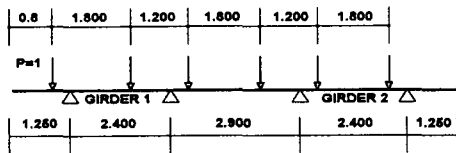
[그림 3] 등가지간장 구간의 번호부여

5) 활하중의 산정

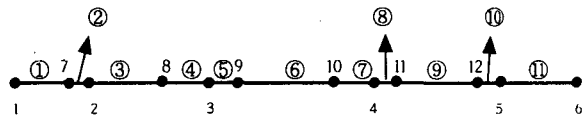
전처리 과정중 활하중의 산정은 교량설계에 있어 가장 중요한 요소이다. 본 연구에서는 활하중의 산정을 위하여 [그림 2-(b)]의 LIVE_LOAD() Module과 [그림 4]의 RMAIN() Module을 구축하였다. LIVE_LOAD() Module은 재하하중(DB, DL하중)을 편분배하지 않은 상태에서 활하중과 편심을 산정하고 RMAIN() Module은 뼈대 구조로 Modeling한 교량에 적용하기 위해 재하하중을 주형으로 편분배한 후 실하중과 편심을 산정한다. RMAIN() Module은 [그림 5]와 같은 재하 활하중을 사용자의 Modeling Data없이 [그림 6]의 내부적 자동 Modeling과 하중재하로 [그림 7]의 결과를 출력한다. [표 1]은 [그림 5]의 구조를 수작업으로 Data를 작성한 후 SAP90⁵⁾으로 해석한 값과 비교한 것이다. [표 1]에서 보여지듯이 RMAIN() Module에 의한 값과 SAP90의 해석결과 간에 오차가 전혀 발생하지 않아 구축된 Module의 해석이 옳다는 것을 알 수 있다.



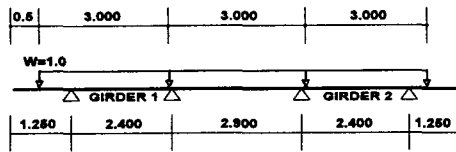
[그림 4] 활하중편분배를 위한 Module



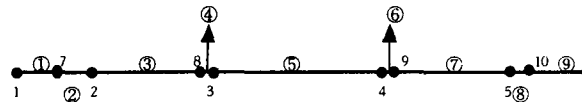
(a) DB 하중재하



(a) DB 하중재하시 Node와 Element



(b) DL 하중재하



(b) DL 하중재하시 Node와 Element

[그림 5] DB, DL 3차선 하중재하 Model

[그림 6] 활하중재하시 Node와 Element

*Support Reactions

Joint	Ar[j1]	Ar[j2]	Ar[j3]
2	0.0000	1.5006	0.0000
3	0.0000	1.7316	0.0000
4	0.0000	1.9867	0.0000
5	0.0000	0.7812	0.0000

* DB-24 (3차선 재하시) 활하중의 산정
 P=2.400 t Pr=9.600 t
 - GIRDER 1
 전부하중 : $P_f = 2.400 \times (1.732 + 1.501) = 7.759$ t
 집중하중 : $P_r = 9.600 \times (1.732 + 1.501) = 31.037$ t
 편심거리 : $E = ((1.732 - 1.501) \times 1.20) / (1.732 + 1.501) = 0.086$ m

*Support Reactions

Joint	Ar[j1]	Ar[j2]	Ar[j3]
2	0.0000	1.7968	0.0000
3	0.0000	2.7892	0.0000
4	0.0000	2.8882	0.0000
5	0.0000	1.5257	0.0000

* DL-24 (3차선 재하시) 활하중의 산정
 W=1.270 t/m P=10.800 t P=15.600 t
 - GIRDER 1
 분포하중 : $W_1 = 1.270 \times (2.789 + 1.797) / 3.0 = 1.941$ t/m
 집중하중 : $P_m = 10.800 \times (2.789 + 1.797) / 3.0 = 16.510$ t
 편심거리 : $E = ((2.789 - 1.797) \times 1.20) / (2.789 + 1.797) = 0.260$ m

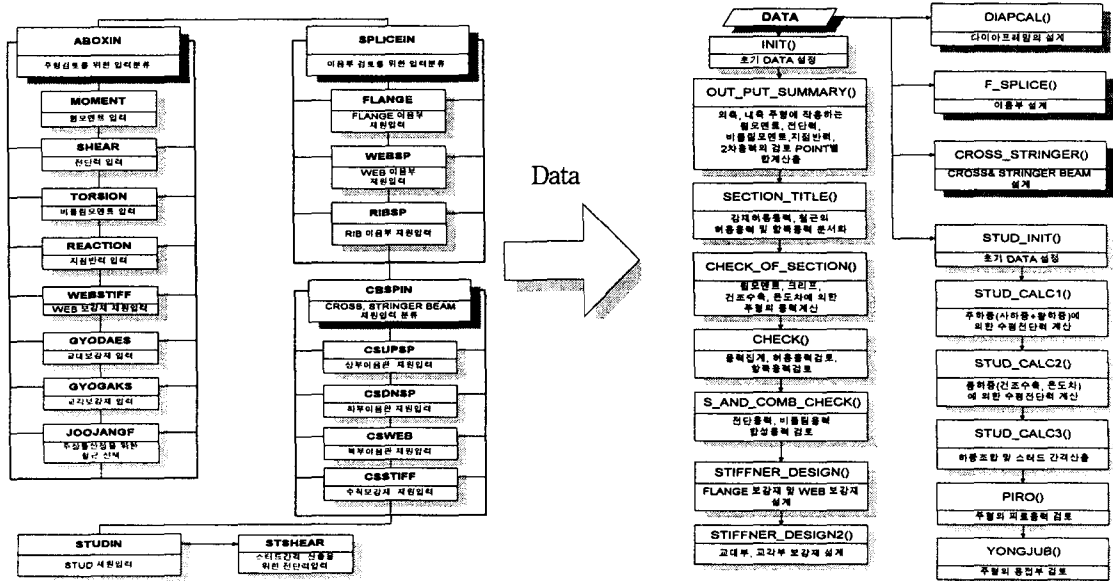
[그림 7] DB24, DL24 실하중과 편심

[표 1] RMAIN() Module과 SAP90해석의 결과 비교

재하 하중	구 분			
	NODE	RMAIN() Module	SAP90	오 차
DB24	2	1.5006	1.5006	0.000
	3	1.7316	1.7316	0.000
	4	1.9867	1.9867	0.000
	5	0.7812	0.7812	0.000
DL24	2	1.7968	1.7968	0.000
	3	2.7892	2.7892	0.000
	4	2.8882	2.8882	0.000
	5	1.5257	1.5257	0.000
	5	1.5257	1.5257	0.000

3.2 후처리를 위한 입력 Class 및 설계수행 Module

후처리를 위해 구축된 입력 Class와 Module은 [그림 8]과 같다. 사용자는 [그림 8-(a)]의 입력 Class를 이용하여 검토가 필요한 위치의 단면력을 입력하고 기타 보조재의 단면을 가정한다. [그림 8-(b)]는 후처리를 위한 설계수행 Module이며 입력된 단면력을 합산한 후 시방규정에 따라 하중을 조합하여 주형의 응력을 검토한다. 그리고 Cross Beam과 Stringer Beam은 물론 여러 보조재에 이르기까지 지식화된 설계가 이루어진다.



(a) 후처리 입력 Class

(b) 후처리 설계수행 Module

[그림 8] 후처리 입력 Class 및 설계수행 Module

1) MOMENT, SHEAR, TORSION, REACTION 입력 Class

이 입력 Class들은 검토와 설계가 필요한 위치의 휨모멘트, 전단력, 비틀림 모멘트, 지점반력등을 입력받기 위한 것이다. 입력할 사항들은 GIRDER 자중과 바닥판 자중, 후 사하중, DL하중, DB하중에 의한 각 단면력 및 2차응력 산출을 위한 2차응력계수를 입력한다. 이 사항들은 후처리 Module수행시 응력검토를 위한 중요한 Data로 사용된다.

2) CSUPSP, CSDNSP, CSWEB, CSSTIFF 입력 Class

Cross Beam과 Stringer Beam의 이음판에 대한 가정단면과 사용될 보강재를 입력한다. Stringer Beam은 강합성상형교에서 반드시 필요한 것이 아니므로 그 유무를 판단하여 입력을 받지 않게 하였다.

3) CHECK_OF_SECTION(), CHECK() 설계수행 Module

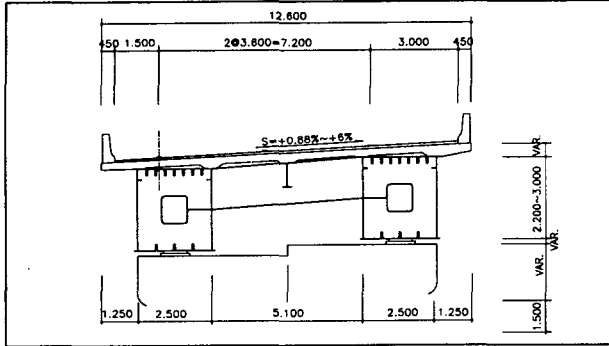
이 Module에서는 전처리에서 입력한 단면계수와 유효폭에 대한 정보를 파악하여 주형의 응력을 검토한다. CHECK_OF_SECTION() Module은 휨모멘트, 크리프, 건조수축, 온도차에 의한 주형의 응력을 계산하고 그 계산 결과를 CHECK() Module로 가져가 응력을 집계한 후 시방규정에 명시된 하중으로 조합하고 허용응력 증가율을 적용해 주형의 응력을 검토한다.

4) F_SPLICE(), CROSS_STRINGER() 설계수행 Module

F_SPLICE() Module은 주형의 Flange이음판과 Web이음판 설계 및 사용된 볼트의 응력검토를 수행한다. CROSS_STRINGER() Module에서는 Cross Beam과 Stringer Beam을 단순지지 구조물로 두고 활하중에 대한 영향선의 값을 산출한 후 단면 및 보강재를 검토한다.

4. 전·후처리 통합설계 시스템의 실행 예

강합성상형교의 예제로 [그림 9]의 5경간 Steel Box Girder교를 설계하기 위해 실행한 입력Class와 설계수행 Module의 수행 결과로 생성되는 Document등을 아래에 나열한다. [표 2]은 이 교량의 설계조건이다.



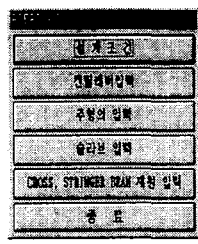
[그림 9] 횡단면도

[표 2] 교량의 설계조건

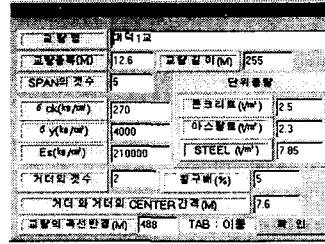
교량형식	형식	5경간 연속 강합성상형교
	지간	45+50+65+50+45 = 255.0 M
설계하중	교량총폭	12.6 M
	설계하중	DB24, DL24
강재	사용강재	SWS 490
	항복응력	3,200 kg/cm ²
	허용인장응력	1,900 kg/cm ²
	허용전단응력	1,100 kg/cm ²
	탄성계수	2,100,000 kg/cm ²
콘크리트	설계기준강도	270 kg/cm ²
	탄성계수	250,000 kg/cm ²
	사용철근	SD40



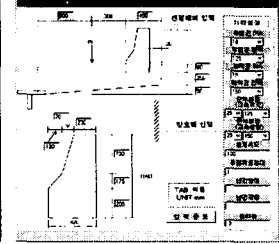
[그림 10] 초기화면



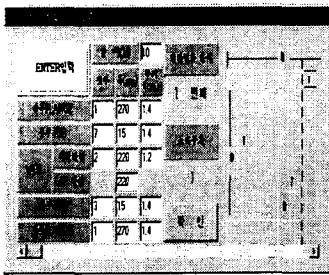
[그림 11] 입력분류



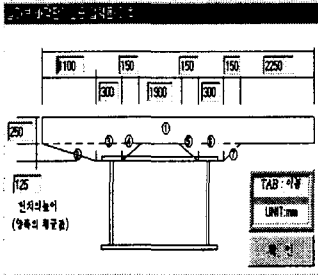
[그림 12] 설계조건 입력



[그림 13] 캔틸레버부 입력



[그림 14] 주형의 입력



[그림 15] 슬래브의 입력

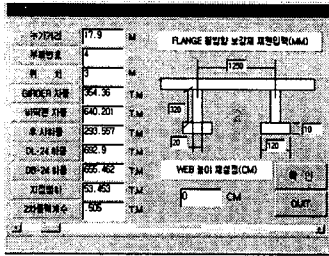
[그림 10]의 초기화면 메뉴에서 Preprocessor를 선택한 후 [그림 11]의 입력분류를 통해 교량의 전처리 작업을 진행하였다. 이러한 전처리 입력작업을 끝낸 후 설계를 수행하면 다량의 Document를 얻을 수 있다. [그림 16]은 얻어진 Document의 일부로써 Modeling작업의 편의를 도모하기 위해 전처리 과정중 계산되어진 교량의 유효폭을 적용한 가정 단면의 계수를 정리한 것이다. 사용자는 이 결과를 기초로 하여 뼈대구조로 Analysis를 위한 Modeling작업을 손쉽게 진행 할 수 있다.

4.4.2 단면계수

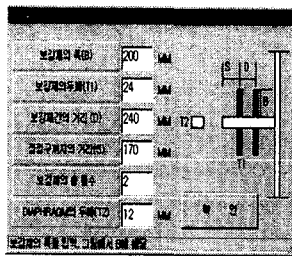
의 측

부재	합성전	합성후	비고
단면 1	b	2,700 mm	2,700 mm
	h	2,200 mm	2,200 mm
	tfu	0.014 mm	0.045 mm
	tfb	0.014 mm	0.014 mm
	tw	0.012 mm	0.012 mm
	A	0.1494 m ²	0.3438 m ²
단면 2	b	2,700 mm	2,700 mm
	h	2,200 mm	2,200 mm
	tfu	0.016 mm	0.047 mm
	tfb	0.016 mm	0.016 mm
	tw	0.012 mm	0.012 mm
	A	0.1602 m ²	0.3546 m ²
I	0.135542430 m ⁴	0.261744840 m ⁴	
	0.167171061 m ⁴	0.201503232 m ⁴	
K	0.149003980 m ⁴	0.280998880 m ⁴	
	0.178159520 m ⁴	0.210132673 m ⁴	

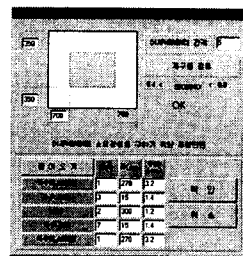
[그림 16] 단면계수가 정리된 Document



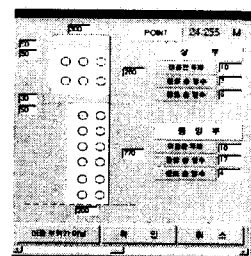
[그림 17] 휨모멘트 입력



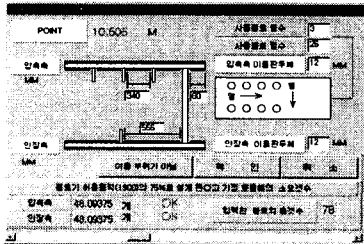
[그림 18] 교대부 보강재



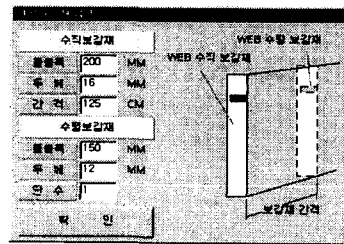
[그림 19] 다이아프래임



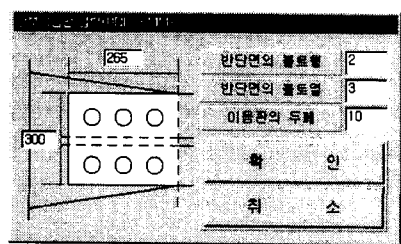
[그림 20] Web이음판



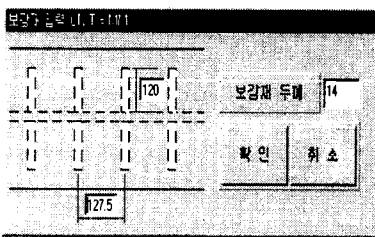
[그림 21] Flange이음판



[그림 22] Web보강재



[그림 23] Cross&Stringer Beam 이음판



[그림 24] Cross Beam 보강재

[그림 10]의 초기화면 Menu에서 Postprocessor를 선택하여 후처리 작업을 진행하였다. [그림 17]에서와 같이 검토하고자 하는 위치의 단면력을 입력하고 [그림 18]의 입력Class로 교대부 및 교각부의 보강재 재원을 입력하였다. [그림 19]는 주행거더의 비틀림을 방지하기 위해 설치하는 다이아프래임에 대한 재원을 입력하는 것으로 입력 즉시 개구율을 검토할 수 있어 재설계 수행의 횟수를 줄여준다. [그림 20] - [그림 22]의 입력작업을 통해 주형의 이음부에 대한 검토와 사용 볼트를 설계하였다. [그림 25]는 후처리의 수행결과로 생성된 Document의 일부로써 주형의 허용응력을 검토한 결과이다. [그림 26]은 Stringer Beam의 설계를 나타낸 것이다.

● 허용응력 검토

- CASE 1 : 가성시
- CASE 2 : 사하중 + 활하중 + 지점좌하
- CASE 3 : 사하중 + 활하중 + 지점좌하 + 크리프 + 건조수축
- CASE 4 : 사하중 + 활하중 + 지점좌하 + 크리프 + 건조수축 + 온도차

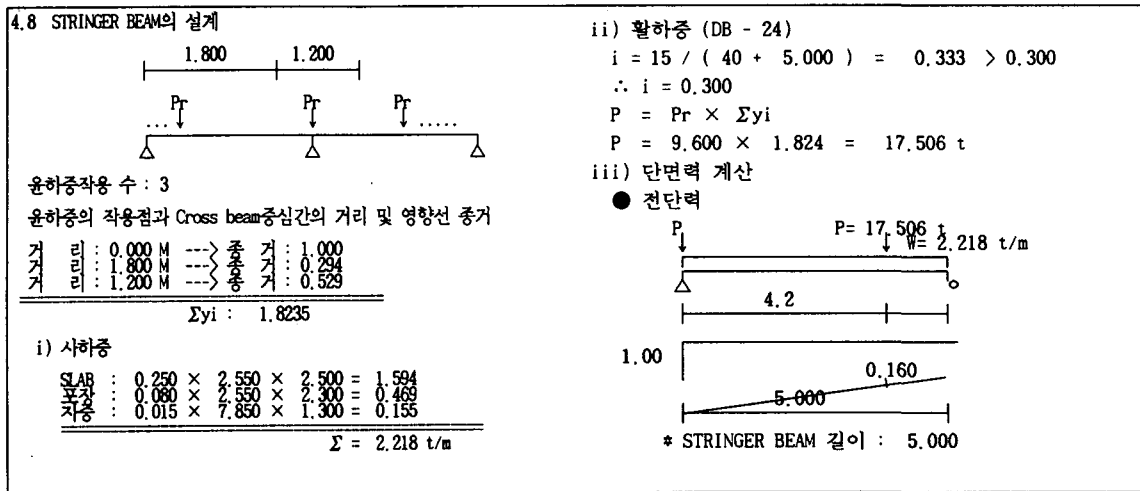
- 콘크리트의 허용응력 : $\sigma_{ca} = 81 \text{ kg/cm}^2$
 - 강재의 허용응력 : $\sigma_{sa} = 1900 \text{ kg/cm}^2$
 - 철근의 항복응력 : $\sigma_{ra} = 1600 \text{ kg/cm}^2$

<단위: kg/cm²>

NO	응 력	σ_{ru}	σ_{rl}	σ_{su}	σ_{sl}
1	CASE1			-825.0	775.0
	허용응력			$1.25\sigma_{sa} = 2375$	$1.25\sigma_{sa} = 2375$
				OK	OK
2	CASE2	-591.3	-526.2	-1329.1	1443.3
	허용응력	$\sigma_{ra} = 1600$	$\sigma_{ra} = 1600$	1900	$\sigma_{sa} = 1900$
		OK	OK	OK	OK
3	CASE3	-629.5	-564.0	-1366.8	1412.3
	허용응력	$\sigma_{ra} = 1600$	$\sigma_{ra} = 1600$	1900	1900
		OK	OK	OK	OK
4	CASE4	-463.3	-399.5	-1202.8	1547.3
	허용응력	$\sigma_{ra} = 1600$	$\sigma_{ra} = 1600$	$1.15\sigma_{sa} = 2185$	$1.15\sigma_{sa} = 2185$
		OK	OK	OK	OK

* 압축 플랜지의 허용응력은 극부좌굴을 고려한 값이어야 함 (도시 p159 -)
 $\phi = 0.000, f = 1.000$
 $\frac{b}{48fn} = \frac{250}{48 \times 1.0 \times 8} = 0.651$
 $b / 24fn = 1.302 < 3.200$
 $\therefore \sigma_{sa} = 1900$

[그림 25] 주형의 허용응력 검토 결과 Document



[그림 26] Stringer Beam 설계 결과 Document

5. 결 론

본 연구에서 개발된 강합성상형교를 위한 전·후처리 통합설계시스템은 현 설계업무 처리 시스템을 바탕으로 입력 Class와 Module을 구축하였다. 그리고 설계수행 후 생성되는 Document는 개정된 도로교시방서와 강교와 연관되어진 문헌의 설계지식을 토대로 구성하였다. 본 시스템의 특징을 다음과 같이 결론 지을 수 있다.

1. 사용자 중심의 인터페이스 시스템의 구축으로 강합성상형교 설계업무 효율을 증대시켰다.
2. 편리한 설계Data의 관리로 재설계 작업이 간편하며 설계수행 결과 또한 입력작업 도중이나 입력종료시 즉시 시스템내에서 확인 할 수 있어 만족스러운 설계를 이끌어 내는데 용이하다.
3. 설계작업 종료와 동시에 생성된 Document는 최소의 수작업을 통하여 보고서용 실시설계 구조계산서의 작성이 가능하다.
4. 설계과정별로 구축된 입력Class와 Module은 향후 설계방법의 변경이나 추가에 대처할 수 있도록 분산 되어 있어 유지, 관리가 쉽다.
5. 각 입력Class는 사용자로 하여금 최소의 입력작업을 유도하였기 때문에 설계전문가는 물론 초보자도 쉽게 설계에 접근할 수 있게 되었다.

6. 참고 문헌

1. Steven Holzner(배미경 역), C++ PROGRAMMING, 영진출판사, 1995
2. Peter Norton and Harold & Phyllis Davis(윤석현 역), VISUAL BASIC4, 인포북, 1996
3. 강구조편람(제 7권), 한국강구조협회, 1995
4. 도로교표준시방서, 대한토목학회, 1996
5. SAP90 ANALYSIS USER MANUAL, COMPUTERS & STRUCTURES INC.
6. Himstreet/Baty, Business Communications, Ninth Edition, TOMSON INFORMATION/PUBLISHING GROUP, 1990
7. William Weaver, Jr. and James M. Gere, Matrix Analysis of Framed Structures, Third Edition, Van Nostrand Reinhold, 1990