한국전산구조공학회
1998년도 가을학술발표회 논문집

슬래브 교량의 최대 설계 모멘트 산정을 위한 프로그램 개발

The development of a computer program for the maximum design moments in slab-bridges

홍순호* 신영석**
Hong. Soon-Ho Shin. Yung-Seok

Abstract

This monograph is based on the purpose of exploiting the program, which let designers to easily compile the input data of a widely used FEM analysis program, SAP90 - one of structural analysis programs, and making it easy to design slab bridges by studying more efficient analysis method with optimization method. The knowledge of position at which a maximum moment occurs is helpful to do a practical design. Seeing that more time and capital should be invested when engineers depend on manual work in the process of making input data repeatedly, the automatic process would increase the degree of reliability and productivity.

1. 서론

본 연구에서는 부정정 구조물의 교량설계시 사용되는 구조해석 프로그램 중 하나인 범용 유한요소해석 프로그램 SAP90[(1)]의 입력 데이터를 손쉽게 작성해주는 프로그램을 개발하고, 최적화 기법을 사용하여 좀 더 효율적인 해석방법을 연구하여 교량설계 실무에 도움을 주고자 함이 목적이다. 구조물 해석 프로그램인 SAP90에서의 활하중 재하에 따른 최대 모멘트가 발생하는 위치를 찾아내어 실제 설계에 응용할 수 있도록 하고, 수 작업시 행해지는 데이터의 반복적 입력 과정에서 오류 발생 소지가 크고 많은 시간이 투자되어야 하므로 일련의 과정을 전산화시키면 신뢰도 뿐만 아니라 생산력을 월등히 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 프로그램 설명

SINADS는 구조해석 프로그램인 SAP의 INPUT DATA를 좀더 편하게 입력할 수 있도록 하고, 최적화 프로그램인 ADS[(2)]를 연계하여 설계에 응용하고자 한다.

* 아주대학교 토목공학과 석사
** 아주대학교 토목공학과 부교수

2.1. 초기화면

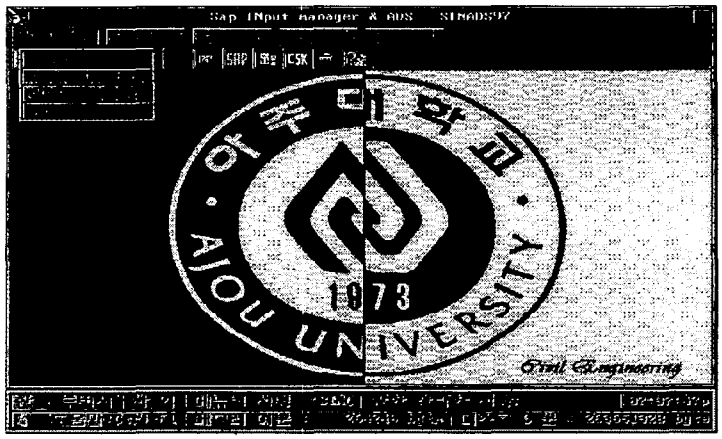

그림 1 초기 화면

마우스, 키보드, 그리고 단축키를 이용하여 각 메뉴를 선택할 수 있다. 또한 단축 아이콘을 이용할 수 있다.

2.2. SHELL INPUT 기능

[자료입력] 메뉴에서 부메뉴인 <SHELL입력>을 선택하여, 자료를 입력한다. SAP90를 실행하기 위한 INPUT DATA를 생성하는데, 기본 물성과 SHELL의 크기 그리고 하중의 위치를 입력칸에 넣는다. 각 항목은 화살표키로 움직인다. 이곳에서 입력된 자료는 하중위치를 제외하고, 나머지 자료가 최적화 프로그램인 ADS를 실행시킬 때, 쓰이므로 반드시 ADS 분석을 실행하기 전에 <SHELL 입력>으로 데이터를 생성하는 작업이 선행되어야 한다.

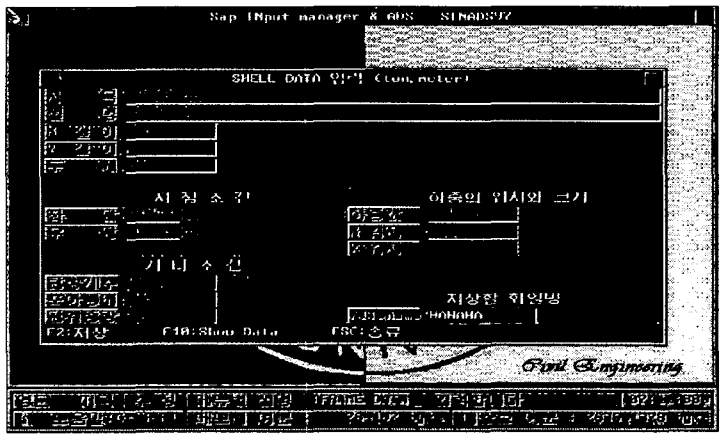

그림 2 SHELL INPUT 메뉴

2.3. 최적화 과정

본 프로그램(SINADS)에서는 ADS를 SAP90과 연계하여 정확한, 그리고 자동적인 OPTIMIZATION을 수행하는데 있다. 최적화 수행은 ADS가 그리고 ADS에 필요한 OBJ값을 SAP90의 분석으로 얻는다. ADS는 그 최적화 수행에 필요한 OBJ값을 SAP90을 호출하여 반복적으로 계산하고, 적당한 조건(INFO==0)으로 최적화 작업을 마친다.[3]

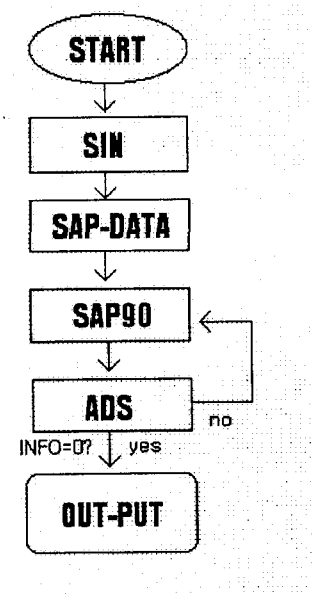

그림 3 Flow chart

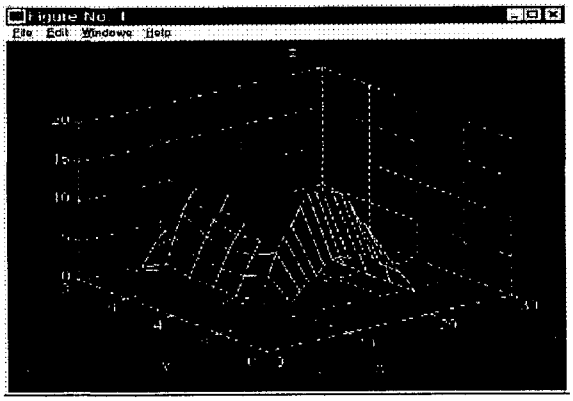

그림 4 모멘트값을 3차원으로 연결한 형상

3. 프로그램의 신뢰성 검토

3.1. MATLAB으로 본 평판상의 최대모멘트 분포

다음에 보여주는 그래프는 차량(DB24)이 이동함에 따른 모멘트의 전체적인 변화를 보여준다.
즉, 최적화 이론을 사용하지 않고 차량간격을 일정하게 해서 SAP90을 반복 실행하여 그때의 최대 모멘트들의 양상을 그린 것이다. 그림들은 모두 동일한 DATA에 대한 것이다.

그림 4는 SHELL을 일정한 간격으로 MASH를 구성하여 그 MASH의 격자점에 대하여 수 작업을 수행해서 입체적으로 도시화한 그림이다. 그림에서 알아 볼 수 있듯이, Y축 방향으로 대칭적으로 GLOBAL OPTIMUM 뿐만 아니라, LOCAL OPTIMUM이 생기는 것을 알 수 있다.

ADS는 목적함수의 최소 값을 찾으므로 모멘트의 최대 값을 찾기위해서는 모멘트에 -부호를 붙인 함수의 최소값이 구하고자 하는 최대 정모멘트이고 부호를 바꾸지 않은 함수의 최소값이 최대 부모멘트이다.

3.2. 교량지간길이 및 슬래브 폭 변화에 따른 모멘트 비교

두 가지 교량에 대해서 본 프로그램에 의해 최대 휨 모멘트를 구하고 발생위치를 알아보았다. 우선 지간길이가 15m이고 슬래브 폭이 9m이며 차도와 보도의 구분이 없는 단순 슬래브 교량의 지간 방향 및 지간 직

각 방향에 대한 최대 정, 부모멘트를 구하고 일단고정 타단롤러의 지점조건을 갖는 교량의 최대 휨 모멘트를 구하여 다음과 같은 표로 정리하였다. 표에서 x, y는 DB24하중의 중앙축의 위치이고 Evaluation은 본 프로그램과 연계된 ADS의 최적값을 찾기 위해 수행된 function evaluation 회수이다.

표 1 일단힌지 타단롤러의 지점조건일 때 모멘트값 비교 (15m × 9m)

	M11	M22	-M22
(x,y)	(6.8, 1.5)	(6.0, 4.3)	(8.9, 1.5)
Value(t-m)	17.4	4.6	-0.74
Evaluation	39번	38번	39번

표 2 일단고정 타단롤러의 지점조건일 때 모멘트값 비교 (15m × 9m)

	M11	-M11	M22	-M22
(x,y)	(8.4, 1.5)	(6.05, 1.5)	(7.3, 4.5)	(6.06, 1.5)
Value(t-m)	12.6	-22.8	4.36	-4.5
Evaluation	35번	40번	48번	36번

표 1, 2에서 M11은 지간 방향의 정모멘트이고, -M11은 지간 방향의 부모멘트, M22는 지간 직각 방향의 정모멘트, -M22는 지간 직각 방향의 부모멘트이다. 표 1에서 보이는 바와 같이 단순교에서도 지간 직각 방향에 부모멘트가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 지점의 양쪽 끝에서 微少하게 나타나는 것으로 edge reaction[4]에 의한 것으로 해석되며 시방서[5]에서 규정한 값도 보다 훨씬 작은 값이 발생하고 있다. 표 2에서 지간 방향의 정모멘트는 단순교에 비해 약 5t-m 정도 줄어 들었으나 지간 직각 방향의 부모멘트가 정모멘트에 비해 상당히 큰 값을 보임을 알 수 있다. 교량에 거더를 설치해야 지간 방향의 부모멘트 값을 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 부정정 구조 교량에서 거더를 설치하면 정모멘트 감소 비율에 비해 부모멘트 감소 비율이 훨씬 크기 때문이다.

이번에는 지간길이가 12m이고 슬래브 폭이 8m인 차도와 보도의 구별이 없는 교량에 DB24하중을 재하해 최대 설계모멘트와 발생위치를 산출해 보았다.

표 3 일단힌지 타단롤러의 지점조건일 때 모멘트값 비교 (12m × 8m)

	M11	M22	-M22
(x,y)	(5.3, 1.5)	(5.96, 3.9)	(7.3, 1.5)
Value(t-m)	14.4	4.1	-0.54
Evaluation	52번	39번	25번

표 4 일단고정 타단롤러의 지점조건일 때 모멘트값 비교 (12m × 8m)

	M11	-M11	M22	-M22
(x,y)	(6.8, 1.5)	(5.5, 1.5)	(5.99, 3.98)	(4.7, 1.5)
Value(t-m)	10.4	-18.9	3.84	-3.81
Evaluation	39번	44번	37번	49번

앞에서 구한 지간 길이 15m, 슬래브 폭 9m인 시험 교량과 비슷한 결과가 나왔다. 단지간의 교량에서도 지간 직각 방향에 대한 부모멘트가 미소하게 나왔으며 지간 직각 방향의 정모멘트도 지점 조건에 관계없이 차량이 교량 중앙에 위치할 때 최대가 됨을 알 수 있다. 프로그램이 한번 최적화 하는데 대체로 5분 이내의 시간이 소요되며 function evaluation도 50 번 이내이다.

3.3. 거더의 휨 강성증가 및 비틀림 강성 증가에 따른 모멘트 변화

강성에는 휨 강성과 비틀림 강성이 있는데 편의상 본 논문에서 휨 강성을 강성이라 하겠다. 지간길이 12m 슬래브 폭 8m인 일단힌지 타단롤러의 지점조건을 갖는 단순교에서 거더 휨 강성변화에 따른 지간 방향의 모멘트 M11과 지간 직각 방향의 모멘트 M22의 변화를 알아보기 위해 H형강 250×250×82.2의 강축에 대한 단면 2차 모멘트에 해당하는 값인 0.0001m^4에서부터 2배씩 증가시켜 0.0064m^4 까지 강성을 증가시켜 가며 모멘트 변화를 알아보았다.

표 5 거더 강성증가에 따른 정모멘트의 변화

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
M11(t-m)	14.1	13.8	13.3	12.5	11.2	9.4	7.4
M22(t-m)	4.1	4.1	4.24	4.33	4.5	4.79	5.04

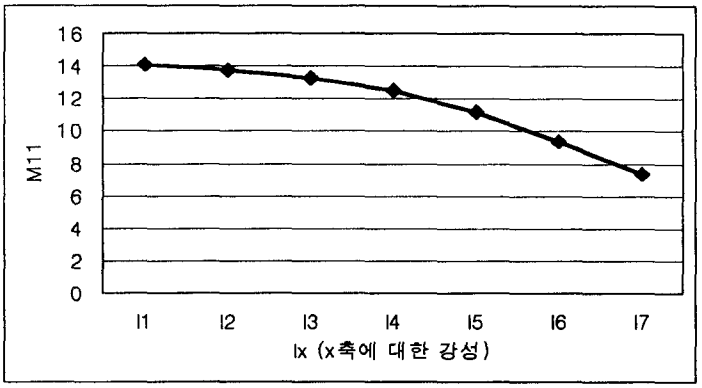

그림 5 거더 강성증가에 따른 지간 방향 모멘트의 변화

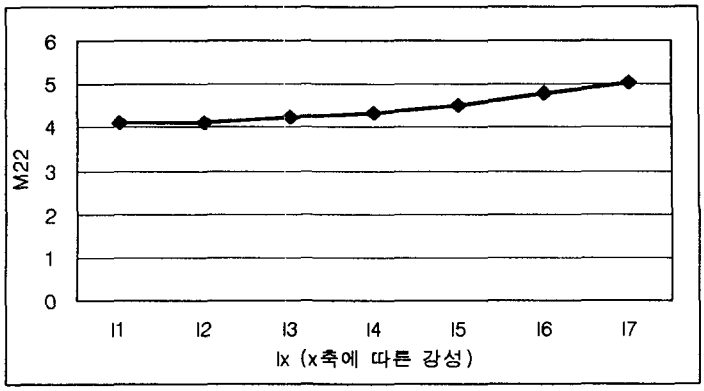

그림 6 거더 강성증가에 따른 지간 직각 방향 모멘트의 변화

표 1에서 보는 바와 같이 거더의 강성을 증가시키면 지간 방향의 모멘트는 감소하나 지간 직각 방향의 모멘트는 약간씩 증가함을 볼 수 있다. 이는 거더의 강성이 증가함에 따라 교량중앙에서의 처짐이 난간 쪽에서의 처짐에 비해 상대적으로 커짐으로 나타나는 현상이다. 그러므로 설계시 지간 방향의 모멘트를 줄이기 위해 거더의 강성을 높이면 더불어 지간 직각 방향에 대한 슬래브 보강도 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다.

거더의 휨 강성과 비틀림 강성 변화에 따른 지간 직각 방향의 부모멘트의 변화를 알아보기 위해 H형강 300×300×106의 비틀림 상수 28600 cm^4에서부터 7번째 강재는 H형강 900×300×286까지 증가시켜 가며 모멘트의 변화를 알아보았다.

표 6 거더 비틀림 강성 증가에 따른 모멘트의 변화

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
-M22(t-m)	-3.1	-3.90	-6.2	-6.5	-6.8	-6.4	-6.66

표 5에서 보는 바와 같이 지간 방향의 정모멘트인 M11은 거더의 강성이 증가함에 따라 계속해서 감소함을 볼 수 있었다. 표 6에서 지간 직각 방향의 모멘트는 거더의 강성이 증가함에 따라 오히려 어느 한도 까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 차량이 교량의 거더 쪽에서 약간 떨어진 지점에 위치할 때 최대값이 나오고 있으며 비틀림 강성이 증가함에 따라 모멘트값도 증가함을 볼 수 있다. 이는 강재의 비틀림 강성이 커지면 교량 지점부의 끝에서 비틀림의 효과를 다 받으므로 인해 그 부분에서 부모멘트가 크게 일어나는 것으로 판단된다. 비틀림 강성은 강축에 대한 단면 2차 모멘트와 약축에 대한 단면 2차 모멘트의 합이므로 모멘트를 줄일 목적으로 거더의 강성을 증가시 앞에서 언급한 지간 직각 방향 정모멘트에 대한 고려와 더불어 부모멘트도 슬래브 상부 철근의 배근을 늘리는 방법으로 보강을 해야 할 것으로 판단된다.

3.4. 시방기준에 의한 모멘트와 ADS에 의해 구한 모멘트의 비교

설계모멘트값과 시방기준[5]에 의한 모멘트값을 비교해 보았다. 시방기준에서 충격계수를 고려한 약산식을 사용하므로 비교를 위해 본 프로그램을 이용해 구한 시험교량의 모멘트값에 각각의 지간길에 따라 충격계수를 설계모멘트값에 곱하였다.

표 7 시방기준에 의한 모멘트와 ADS를 이용한 모멘트 비교

교량제원	15M × 9M			12M × 8M		
모멘트의 종류	M11	M22	-M22	M11	M22	-M22
ADS(t-m)	22.5	5.86	-0.94	18.54	5.28	-0.70
시방기준(t-m)	27.5	4.75	-4.75	22.1	4	-4
오차(%)	18	-19	80	16	-32	83

지간 방향의 모멘트의 오차는 20%이내인 반면 지간 직각 방향에 대한 모멘트는 훨씬 큰 오차를 보이고 있다. 이는 시방규정에서는 거더의 영향을 고려해 만든 약산식인 것으로 판단된다. 앞에서도 보았듯이 거더의 강성이 증가하면 지간 방향의 모멘트는 감소하는 반면 지간 직각 방향의 정모멘트 및 부모멘트는 오히려 증가하기 때문이다. 보다 자세한 비교를 위해 슬래브 폭을 8m로 고정하고 교량의 지간 길이를 변화시켜 가며 모멘트를 비교해 보았다. 지간 직각 방향의 모멘트 보다 지간 방향의 모멘트가 교량 설계시 더 중요한 변수로 생각되어 M11만을 비교해 보았다.

표 8 지간길이 변화에 따른 모멘트 변화

지간길이	10m	15m	20m	25m	30m
ADS(t-m)	15.8	23.4	31.5	39.0	46.7
시방서(t-m)	18.5	27.5	36.5	45.5	54.5
오차(%)	15	15	14	14	14

이상에서 보이는 바와 같이 슬래브 폭이 8m인 교량은 오차가 15% 이내로 안전율을 고려하면 시방기준과 부합되는 것으로 판단된다. 그런데 여기서 한가지 고려해야할 사항이 있다. 교량길이가 10m를 넘을 경우 DB하중보다 DL하중에 의해 설계모멘트를 결정해야 한다고 시방서에서 규정하고 있다. 결국 지간이 10m를 넘을 경우 DL하중에 의한 모멘트값이 크다는 것이다. 시방서에서 제시한 약산식이 DL하중을 고려했다면 교량 지간 길이가 길어질수록 오차가 커져야 될 것으로 판단된다. 그런데 위 표에서는 교량의 지간이 길어짐에도 불구하고 오차의 변화가 없었다. 이는 시방서의 규정 또한 DL하중에 대한 고려를 하지 않은 것으로 판단된다.

4. 결론

본문에서 격자망을 구성하여 차량하중을 이동시키면서 작업을 수행한 결과로부터 최적화 SINADS 프로그램의 결과가 신뢰할 수 있음이 입증되었다. 또한 수 계산에 의해 최대 모멘트 발생지점을 찾기에는 많은 시간과 경비가 소요된다.

슬래브 교량에서 교량 지간 방향의 모멘트뿐만 아니라 지간 직각 방향의 모멘트도 설계 시 중요하게 고려되어야 될 것으로 판단되며 일단고정의 부정정 구조의 교량뿐만 아니라 단순형태의 교량에서도 슬래브에 부모멘트가 발생함을 볼 수 있었다.

교량에 거더를 첨가할 시 강성증가에 따라 지간 방향의 모멘트는 감소하나 지간 직각 방향의 정, 부모멘트는 증가함을 볼 수 있었다. 정모멘트는 거더의 강성이 높을 때 지간 직각 방향 중심에서의 처짐이 난간쪽

에서의 처짐보다 상대적으로 더 커짐으로 인해 나오는 결과로 판단되며, 부모멘트는 비틀림 강성의 증가에 따른 현상으로 지점에서 비틀림을 받기 때문인 것으로 판단된다. 이에 대비하기 위해 거더의 강성을 높일 경우 지간 직각 방향 슬래브의 철근 배근을 적절히 늘려야 할 것으로 판단된다.

설계시 시방서에 있는 약산식을 이용해 모멘트 값을 적용하기 전 반드시 추가적인 구조해석이 병행되어야 할 것으로 사료된다. 특히 교량의 지간이 길어질 경우 반드시 DL하중에 대한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다.

본 프로그램은 1경간의 지간을 갖는 비교적 간단한 슬래브교량에 대한 설계 지침이나 향후 연속보 형식(2경간 이상)의 교량에 적용할 수 있는 프로그램으로의 발전이 요구된다. 또한 처짐 및 허용응력을 제약조건에 포함시키고 교량의 두께를 설계변수로 하여 최적화하는 과정이 필요하며 부가적으로 난간 및 교량시설물 헌치의 영향 등을 고려해서 설계의 지침으로 삼아야 할 것으로 판단된다. 현재는 DB하중만 고려했으나 지간길이가 10m이상이 될 경우 DL하중에 대한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 무엇보다도 중요한 사실은 상용구조해석 프로그램과 C언어, 최적화 패키지와의 결합을 통해 효율적인 자동화설계를 위한 새로운 방향을 제시했다는 점에서 의의를 찾을 수 있다.

지금까지 일련의 과정을 통하여 본 프로그램을 이용하여 실무에 적용 시 설계 시간단축 및 설계과정에서 발생될 수 있는 오류를 최소화 할 수 있는 방향을 제시 할 수 있었으며 이로 인하여 설계결과에 대한 신뢰성을 증대시킬 수 있고 결과적으로 산업경쟁력 확보에 일익을 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1) Wilson Edward L., "Sap90 Users Manual", CSI, 1989
2) Vanderplaats G. N., "A Fortran program for Automated Design Synthesis",1985
3) Vanderplaats G. N., "Numerical optimization techniques for engineering design", McGraw-Hill, 1984
4) Timoshenko S. P., "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill, 1984
5) "도로교 표준 시방서", 대한토목학회, 1996