

# H형 복공판과 Channel형 복공판의 구조거동에 관한 연구

An Experimental Study on the Structure Behavior of  
H & Channel-Type Lining Board

이 승 수 \*  
Lee, Seung-Soo

김 두 환\*\*  
Kim, Doo-Hwan

## Abstract

The objective of this paper is to investigate the lining board's capacity for the static load. The test is to inspect the possibility of retrofit and efficiency, which is required to upgrade the structure's capacity and to examine the effects of the improvements of specimen by using structural analysis, and static loading test, respectively. As the result of static loading test for measured stresses and deflections, H type lining board take sufficient load carrying capacity and high stiffness which likes ultimate load, displacement, and bending stresses of intermediate span and top, bottom flange more than 3 times channel type lining board.

## 요 지

본 연구는 H형 및 Channel형 복공판의 정적 하중에 대한 성능을 규명하는데 그 목적이 있다. 보다 향상된 복공판의 성능이 요구되어짐에 따라 보강의 가능성 및 효율성을 파악하였고, 정적재하시험 및 구조해석을 통해 시험체의 개선효과를 비교·검토하였다. 정적재하시험을 통하여 응력과 처짐을 측정하였고, 이를 FEM 해석결과와 비교하였을 때 극한 하중 및 변위, 지간 중앙부와 상·하 플랜지의 휨응력 등에서 H형 복공판은 Channel형 복공판에 비해 약 3배 이상의 높은 강성을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

**Keywords :** H & Channel Type Lining Board, Static Loading Test, Structural Analysis

**핵심 용어 :** H형 및 Channel형 복공판, 정적재하시험, 구조해석

\* 정회원, 인본건설 구조부

\*\* 정회원, 서울산업대학교 구조공학과 교수

E-mail : lss0205@nate.com

•본 논문에 대한 토의를 2005년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2005년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

현재 노면복공으로 사용되고 있는 복공판의 용도로는 일반적으로 지하공사, 연약 지반 시설용, 교량공사용, 다층건물 토목공사용등으로 여러 현장에서 쓰여지고 있다. 그러나 해마다 교통량과 대형차량의 혼입률의 증가로 말미암아 우수한 성능의 노면 복공판이 필연적으로 요구되고 있다.

전반적으로 사용하고 있는 기존의 Channel형 복공판은 ㄷ형강을 나란히 배열한 상판과, 상판의 배면과 측면의 강판 그리고 상판 아래로 내부에 횡방향으로 배치된 리브판으로 제작하여 시공되어 왔고, 복공판 시공 및 사용시의 복공판 유동을 방지하기 위하여 복공판 양단부에 측판의 길이방향과 직교하게 L자 형태의 앵글이 배면에 설치된다. 이 모든 구성 요소들은 용접에 의하여 일체화되어 있다. 이와 같은 기존의 복공판은 지하철 건설과 같은 지하시설 공사 시 도로면을 복개하기 위하여 사용되었으며, 공사차량이나 화물차량 등 축하중의 차량 반복 통행 시 도심지의 혼잡한 도로 상황을 견디지 못하여 근래에 들어 국부적 파손이 증가하고 또한, 여러 형강을 가공, 용접하기 때문에 제작하는 단계에서도 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 다수의 H형강을 나란하게 배열하여 과하중을 견딜 수 있도록 고안한 복공판을 기존 복공판과 비교 시험을 통해 기존 복공판이 가지는 문제점을 보완하고자 하였다. 본 논문에서는 정적재하시험을 통하여 휨에 의한 응력상태와 처짐의 데이터를 획득 측정하고, FEM 해석결과와 정적재하시험을 통해 얻은 측정결과를 상호 비교·분석하였다.

## 2. 시험계획 및 방법

### 2.1 시험내용 및 범위

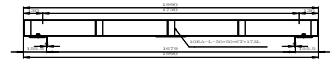
시험체는 각각 Fig. 1와 Fig. 2와 같은 H형 복공판과 Channel형 복공판이다. 각각 구조해석과 정적재하시험을 통하여 구조체의 성능저하 및 설계기준의 상향조정에 필요한 성능 개선의 가능성 및 효율성을

검증하기 위한 시험으로 기존의 복공판에 대한 개선방향을 검토하였고, H형강을 사용한 새로운 형태의 복공판의 성능을 검토하였다.

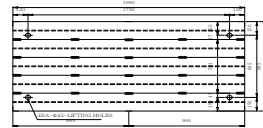
정적재하시험에서는 시험체가 허용휨인장응력에 도달할 경우를 파괴로 간주하였으며, 이후 외부하중을 증가시켜 파괴점까지 시험을 실시하였다.

### 2.2 재료의 물리적 특성

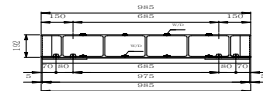
H형 복공판과 Channel형 복공판에 사용된 강재의 종류는 SS400으로 동일하다. KS 규격에 의한 화학성분 및 기계적 성질은 Table 1과 같고, 시험에 사용한 각각의 복공판 제원 및 강재의 허용응력은 Table 2와 같다.



(a) Front View



(b) Plane View



(c) Side View

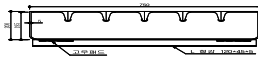
Fig. 1 Dimension & Figuration of H-Type Lining Board



(a) Front View



(b) Surface Vie (c)Inside View



(d) Side View

Fig. 2 Dimension & Figuration of C-Type Lining Board

### 2.3 하중재하 및 측정방법

복공판 중앙부에 일점가력을 하기 위하여 반력 프레임 설치하고, Instron사의 100ton급 Actuator을 사용하여 복공판의 중앙부에 가력판(Loading Plate)을 사용하여 일점가력을 실시하였고<sup>(1)</sup>, 변위제어로 하중이 더 이상 증가하지 않는 시점까지 가력을 하고,

항복 후에는 시험체의 파괴양상을 확인하기 위해 하중 제어로 변환하여 1ton씩 증가시키면서 재하하여 시험체의 변형 형상을 확인하였으며, 변위제어시 재하속도는 2mm/min로 일정하게 재하하였다.

시험체의 중앙부 처짐을 측정하기 위하여 Fig. 3, Fig. 4와 같이 100mm 용량의 변위계를 외단에는 50mm 용량의 변위계를 설치하였다. 중앙부 처짐을 측정하기 위하여 복공판 전체 길이의 중앙선 상의 중앙에 한 개, 중앙선의 외단에서 H형 복공판과 Channel형 복공판 각각 98.5mm, 70 mm 떨어진 곳에 한 개씩 총 3개를 설치하고, 변형률 게이지는 응력이 크게 발생될 지점을 예상하여 부착하였다.

### 3. 구조해석

보 요소를 이용한 2차원 격자형 모델링 방법(Grillage Analysis)에 비해 Shell 요소를 이용한 3차원 모델링의 경우 각 부재의 형상을 Shell요소를 이용하여 모두 표현하는 방법이므로 여러 형강으로 이루어져 있는 복공판의 비교적 정확한 해석을 할 수 있다.

본 시험의 H형 복공판 및 Channel형 복공판 시험체의 DB-18 [뒤축하중(P)=7.2×(1+0.4)=10.08tonf, 재하면적 (A)=5/36×10.08kg=1.400cm<sup>2</sup> 종방향 : 23.67cm, 횡방향: 59.14cm]<sup>(1)</sup> 작용하중에서의 교축방향에 발생하는 휨응력의 분포형상을 밝히고, 하중 분포 영향을 고려하기 위하여 구조해석 범용 프로그램인 Midas Civil을 사용하여 3D-Shell 해석을 실시하

Table 1 The chemil ingredient & mechanic properties of steel

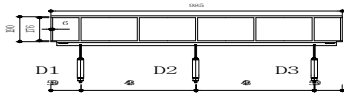
| 기호<br>Symbol | 화학적 성분 (%) |    |    |           |           | 기계적 성질                   |                          |         |
|--------------|------------|----|----|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------|
|              | C          | Si | Mn | P         | S         | 인장강도(N/mm <sup>2</sup> ) | 항복점 (N/mm <sup>2</sup> ) | 연신율 (%) |
| SS 400       | -          | -  | -  | 0.050 max | 0.050 max | 400-510                  | 245min                   | 17min   |

Table 2 Properties of H & C-Type Lining Board & Mechanical properties

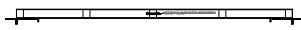
| 형상     | 치수 (mm) |      |     | 복개 면적<br>(m <sup>2</sup> ) | 개당 무게<br>(kg/piece) | 단면적<br>(cm <sup>2</sup> ) | 단면계수<br>(cm <sup>4</sup> ) | 허용 응력<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|---------|------|-----|----------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
|        | W       | L    | H   |                            |                     |                           |                            |                                 |
| H-TYPE | 985     | 1990 | 200 | 2.0                        | 330                 | 195.7                     | 1,515                      | 1,400                           |
| C-TYPE | 750     | 1990 | 200 | 1.5                        | 280                 | 138.06                    | 443                        | 1,400                           |



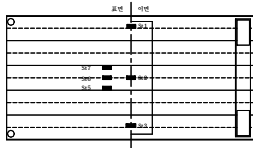
(a) Front View



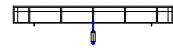
(b) Side View



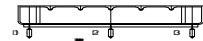
(c) Front View



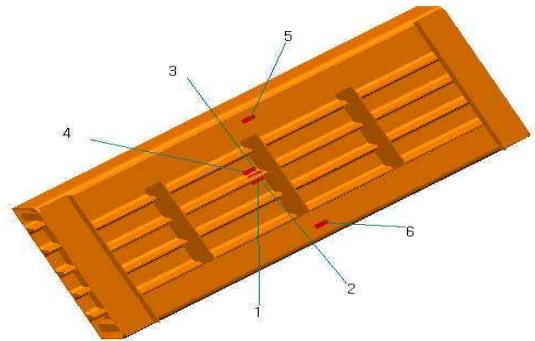
(d) Plane View



(a) Front View



3D



(c) The location of strain gauge total figuration



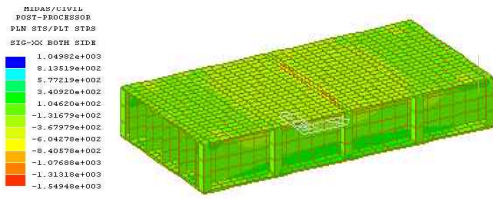
(e) Installation of H-Type Lining Board



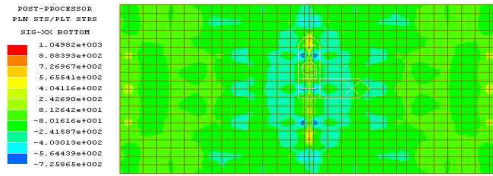
(d) Installation of C-Type Lining Board

Fig. 3 Model of H-Type Lining Board with displacement transducer and strain gauge

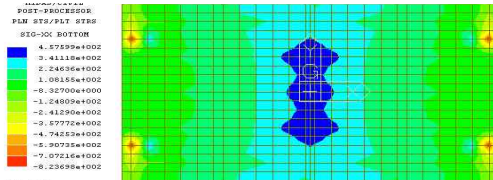
Fig. 4 Model of C-Type Lining Board with displacement transducer and strain gauge



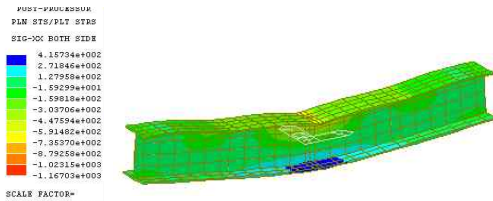
(a) Stress contour in external loading



(b) Stress contour of upper flange



(c) Stress contour of lower flange

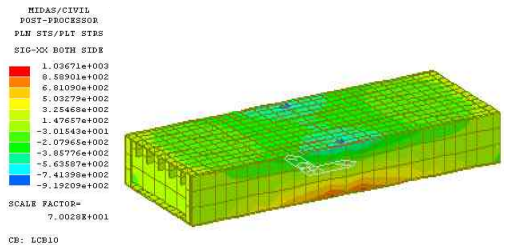


(d) Stress contour of main member

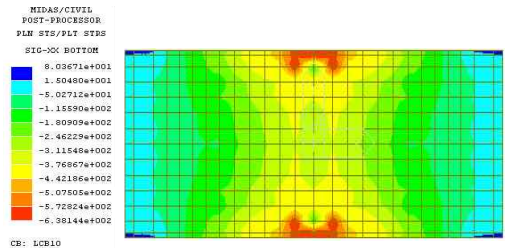
Fig. 5 Stress contour of H-Type Lining Board in applying DB-18

였으며, Fig. 5, 6에서는 외부하중(DB-18) 재하 시 H형 복공판과 Channel형 복공판의 부위별 응력도를 나타내었으며, Fig. 7에서는 외부하중(DB-18) 재하 시 처짐 형상을 나타내었다.

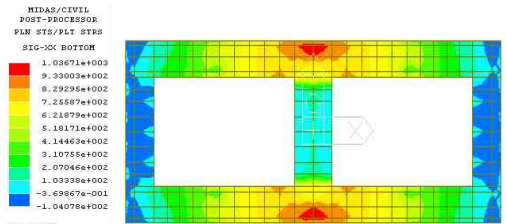
H형 복공판 및 Channel형 복공판에 대하여 셀 요소로 모델링 하고 외부하중(DB-18)을 재하하여 해석한 결과를 부위별 응력도와 처짐형상으로 비교·분석하였다.<sup>(4)(5)</sup>



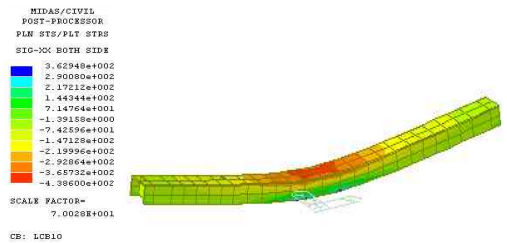
(a) Stress contour in external loading



(b) Stress contour of upper flange



(c) Stress contour of lower flange



(d) Stress contour of main member

Fig. 6 Stress contour of C-Type Lining Board in applying DB-18

해석결과를 살펴보면, Fig. 5에서 H형 복공판의 응력 분포 양상은 상·하부 플랜지의 응력의 범주가 복공판의 중앙부에서 압축·인장응력이 크게 발생되며,

하부플랜지의 지점부위에서 국부적으로 압축응력이 크게 발생하는 것으로 해석되었으며, Fig. 6의 Channel형 복공판의 경우에는 H형 복공판의 응력분포의 양상과는 달리 상·하부 플랜지의 중앙부 외측에서 압축·인장응력이 크게 발생되고, 하부플랜지의 지점부에서는 압축응력이 전반적으로 크게 분포하는 것으로 분석되었다.

또한, FEM 해석결과 H형 복공판이 Channel형 복공판에 비하여 발생하는 휨 인장응력은 3배정도 작게 분석되었으며 처짐은 1.6배 정도로 작게 나타났다.

H형 복공판과 Channel형 복공판의 FEM해석 결과, 나타난 휨 인장응력과 처짐의 차이는 H형 복공판에 비해 Channel형 복공판의 구조체가 2.5배의 작은 단면계수를 가지고 있는 차이로 인해 생긴 것임을 알았다.

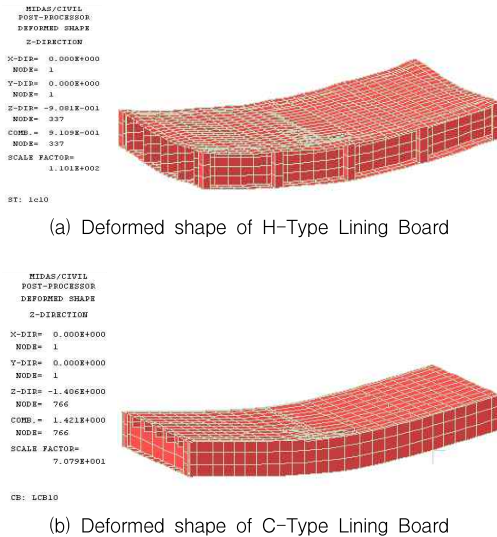


Fig. 7 Deformed shape of H & C-Type Lining Board in external loading DB-18

#### 4. 분석 및 고찰

##### 4.1 최대 극한하중 및 변위

H형 및 Channel형 복공판 시험체에 대해서 정적재하 시험을 실시하여 얻어진 극한하중은 Table 3과 같다.

Table 3 Ultimate force of each specimen

| 시험체명         | 극한하중 (tonf) |
|--------------|-------------|
| H형 복공판       | 95.26       |
| Channel형 복공판 | 27.45       |

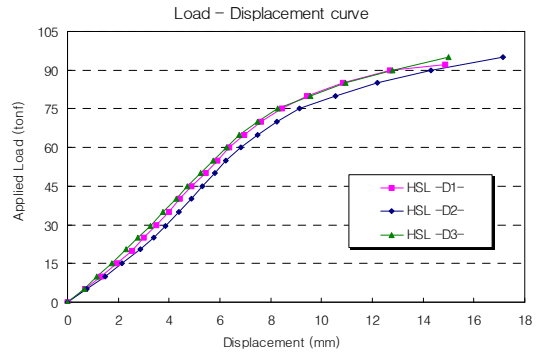


Fig. 8 Load-Displacement diagram of H-Type Lining Board

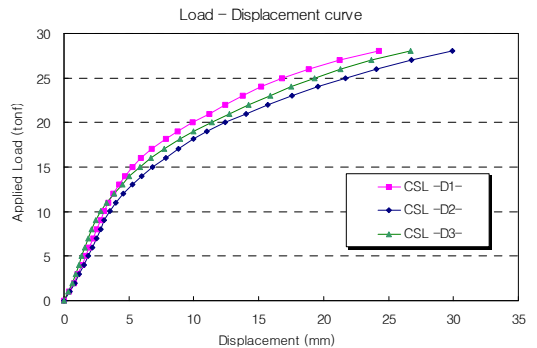


Fig. 9 Load-Displacement diagram of C-Type Lining Board

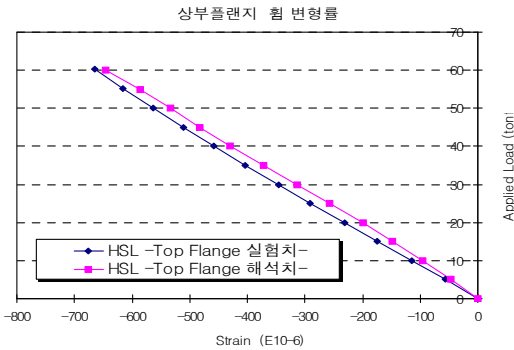
Fig. 8, 9를 살펴보면 H형 복공판의 경우 극한하중이 95.26tonf으로 측정이 되었고, 파괴시점에 도달했을 때의 변위는 17.45mm 였으며, Channel형 복공판의 경우 극한하중이 27.45tonf 으로 측정이 되었고, 변위는 31.48mm로 측정이 되었다. H형 복공판의 경우 Channel형 복공판에 비해 단면계수가 2.5배 크기 때문에 상당히 큰 강성을 보유하고 있어 극한하중의 차이가 3배 이상의 차이를 보인 것으로 분석된다.

#### 4.1 지간중양부 상·하부 플랜지의 휨 응력 변화

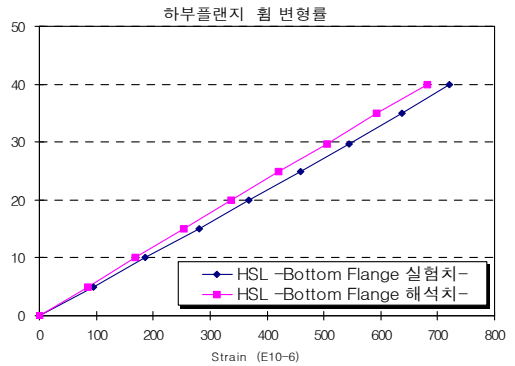
정적재하시험으로부터 강재의 허용응력까지의 H형 및 Channel형 복공판의 상·하부 플랜지의 하중-휨 변형률 관계를 나타낸 것이 Fig. 10, 11과 같다.

H형 및 Channel형 복공판 시험체에서 상·하부 플랜지의 허용휨응력을 발생시키는 외부하중(10.08tonf)에 대한 각각의 시험체의 발생 변형률을 비교 분석한 값은 Table 5와 같다.

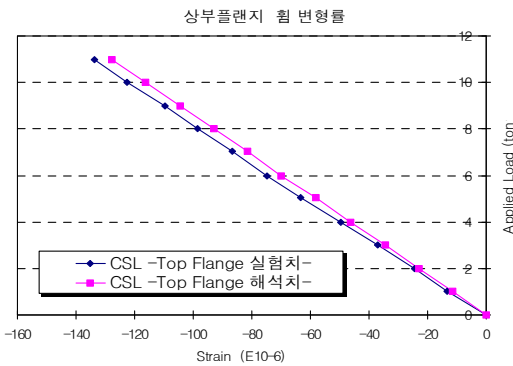
Fig. 10, 11에서 상·하부플랜지의 정적재하시험을 통한 실험값을 살펴보면 H형 복공판이 Channel



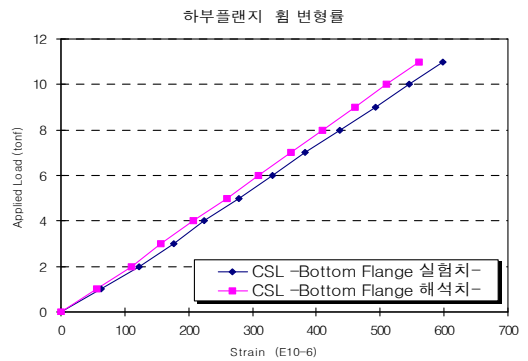
(a) H-Type Lining Board



(a) H-Type Lining Board



(b) C-Type Lining Board



(b) C-Type Lining Board

Fig. 10 Upper flange bending strain of H & C-Type Lining Board

Fig. 11 Lower flange bending strain of H & C-Type Lining Board

Table 5 A comparison table of Measured & Analysis data in applying the identical force

| 시험체 구성       | 내하 하중 (tonf) | 발생변형률 (E10 <sup>-6</sup> ) |         |        |        |
|--------------|--------------|----------------------------|---------|--------|--------|
|              |              | 상부 플랜지                     |         | 하부 플랜지 |        |
|              |              | 실험치                        | 해석치     | 실험치    | 해석치    |
| H형 복공판       | 10.08        | -115.49                    | -95.23  | 186.38 | 168.29 |
| Channel형 복공판 | 10.08        | -122.6                     | -116.19 | 546.10 | 510.19 |

형 복공판에 비하여 발생하는 휨인장 변형률이 약 2.93배 정도 작게 나타나고 있으며, FEM 해석결과에서도 약 3.03배 정도 작게 분석되어, H형 복공판이 높은 내하력을 보유함을 알 수 있다. Channel형 복공판의 경우 외부하중(DB-18)에 대해서 강재의 허용응력 범위에 약 80%를 상회하는 값으로 측정되어, 중차량의 재하시에는 다소 문제점이 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 현재 노면복공으로 사용하고 있는 H & Channel형 복공판에 대한 정적재하시험 및 구조해석을 통해 안전성과 사용성을 규명한 결과 H형 복공판은 channel형 복공판에 비해 단면계수가 크고, 용접부위가 일정한 간격으로 부분용접이 되어있어, 극한하중 및 변위, 시간중양부 상·하부 플랜지의 휨응력등에서 Channel형 복공판에 비해 약 3배 이상의 높은 강성을 보유함을 알 수 있다.

파괴양상은 H형 복공판의 경우 상부플랜지 가력판의 외연에서 하중이 증가함에 따라 변형이 일어남을 알 수 있었으며, 극한하중에 도달하면서 응력집중이 가장 큰 지점부위의 용접부위가 파단 됨을 확인할 수 있었고, Channel형 복공판 시험체의 경우는 극한하중에 도달하면서 중앙부의 치짐이 증가함에 따라 내구성 부족하여 중앙 외연 용접부가 파단되고 국부좌굴 변형이 발생되어 구조체로서의 기능이 상실 됨을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 도로교 설계기준·해설, 대한토목학회, 2003.
2. Rashid, Y. R, Three-Dimensional Analysis of Elastic Solids I AnalysisProcedure, International Journal of Solids and Structures, Vol 5, pp.1311-1331, 1969.
3. Rashid, Y. R, Three-Dimensional Analysis of Elastic Solids-II : The Computational Problem, International Journal of Solids and Structures, Vol 5, pp.1311-1331, 1969.
4. Robert D.Cook., Finite Element Modeling for Stress Analysis. wiley.

(접수일자 : 2004년 3월 22일) (급행)