

입체요소를 이용한 가동받침과 고정받침의 유한요소해석

FE Analysis of Movable Bearing Shoe and Hinged Bearing Shoe

최창근* 이태열** 김태완*** 김재철***
Choi, Chang-Koon Lee, Tae-Yeol Kim, Tae-Wan Kim, Jae-Cheol

ABSTRACT

3D finite element analyses of movable bearing shoe and hinged bearing shoe are performed. The finite element models are built using MSC/PATRAN and analyses are carried out using MSC/NASTRAN. Results are again completely processed using MSC/PATRAN. From the results of the analyses, trends of deformation and stress distribution are reviewed and important factors to consider in the design of bearing shoes are discussed. Furthermore optimum crowning amount for the roller of movable bearing shoe was determined according to the results of the analyses.

1. 서 론

최근에는 전자계산기에 의한 구조해석기법의 발달에 힘입어 장대교량의 건설이 날로 증가되고 있다. 이에 따라 받침도 대형화되어가는 추세이다. 중소교량의 받침을 설계할 때는 규격품 가운데 하나를 골라서 사용하여도 무방하였다. 그러나, 장대교량의 받침은 재하되는 하중이 과다하며 그 크기 또한 다양하기 때문에 미리 일정규격의 제품들을 모두 구비하는 것은 사실상 불가능하다. 설계되는 교량에 따라 받침의 설계조건 또한 다양하므로 각각의 경우 정밀한 유한요소해석이 불가피한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 장대교량의 받침을 대상으로 3차원 유한요소해석을 수행하고 그 결과를 관용설계와 비교함으로써 관용설계시 유의해야 할 사항에 대해 고찰하였다. 전·후 처리기로는 MSC/PATRAN을 사용하였고 해석은 MSC/NASTRAN을 이용하였다.

2. 유한요소모델링

그림 1과 그림 2는 본 연구에서 대상으로 하는 받침 형상의 1/2을 나타낸 것이다. 그림 1과 그림 2에서 알 수 있듯이 모두 대칭형상을 하고 있으므로 유한요소모델을 구성할 때 1/2 모델

* 한국과학기술원 토목공학과 석좌교수
** 한국과학기술원 토목공학과 박사과정
*** 한국중공업 기술연구원 구조강도연구팀

을 사용하였다.

그림 4와 그림 5는 각각 가동받침의 이동량이 없을 때와 이동량이 있을 때에 대한 3차원 유한요소 모델이고 그림 7은 고정받침의 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 그림 6에는 그림 4와 그림 5에 나타난 요소 중 Roller 부분만을 따로 나타내었다.

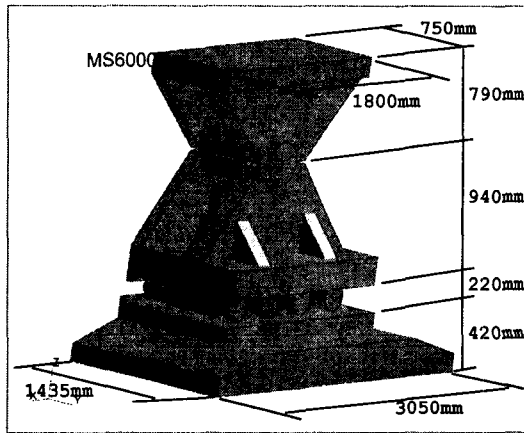


그림1 가동받침의 형상 (1/2)

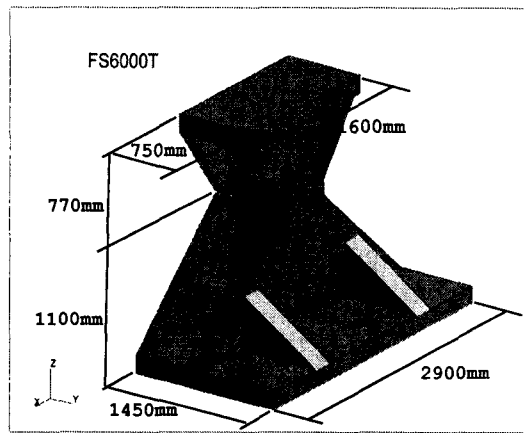


그림2 고정받침의 형상 (1/2)

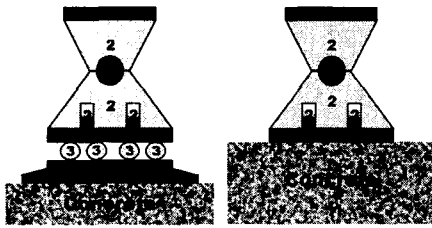


그림3 부재별 사용재료

표1 유한요소 모델의 구성

명칭	전반력 (tonf)	이동량 (mm)	절점수	요소수	하중 (kgf/mm ²)
M6T1	5846	0	3643	2628	2.165
M6T2	5846	180	3643	2628	2.165
F6T1	5912	없음	3383	2304	2.463

표2 허용응력

종류	축방향 응력 (kgf/cm ²)		횡응력 (kgf/cm ²)		전단응력 (kgf/cm ²)	지압 응력 (kgf/cm ²)			
	인장	압축	인장	압축		헬츠공식으로 계산한 경우 지압			
						미끄러지지 않는 평면 접촉	미끄러지는 평면 접촉	지압응력	필요경도
1 (S35CN)	1,900	1,900	1,900	1,900	1,400	2,800	1,400	7,200	HB149 이상
2 (LMnSC2)	1,900	1,900	1,900	1,900	1,100	2,800	1,400	7,800	HB163 이상
3 (C-13B)	3,000	3,000	3,000	3,000		4,500	2,250	19,000	HB475 이상

표3 강재의 재료상수

재료상수	상수값
탄성계수 E	2.1×10 ⁴ kgf/mm ²
포아송비 v	0.3
전단계수 G	$\frac{E}{2(1+v)} = 8.1 \times 10^3$ kgf/mm ²

표4 콘크리트의 재료상수

재료상수	상수값
탄성계수 E _c	2.60×10 ³ kgf/mm ²
포아송비 v	0.15
전단계수 G _c	$\frac{E_c}{2.3} = 1130.43$ kgf/mm ²

대상구조물은 그림 3과 같이 다양한 재료들로 구성되어 있다. 그림 3과 같이 강재로 구성된 받침은 콘크리트로 구성된 교각부 위에 놓이게 된다. 각 재료들의 종류 및 각종 허용응력은 표 2에 표시하였다. 그리고 사용된 재료상수는 표 3과 표 4에 나타내었다.

가동받침의 경우는 이동량이 있을 경우에 대하여 응력을 확인하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 가동받침의 이동량이 없는 경우와 이동량이 있는 경우에 대하여 각각 유한요소해석을 수행하였다. 표 1과 같이 이동량이 없는 경우의 모델 명칭은 M6T1 이고, 이동량이 있는 경우의 모델 명칭은 M6T2 이다. 고정받침의 명칭은 F6T1 이다.

받침에 작용시킨 하중은 받침에 작용하는 전반력을 상부의 하중이 재하되는 면의 면적으로 나눈 등분포 압력하중으로 작용시켰으며 계산된 하중은 표 1에 나타내었다.

각 모델별 경계조건은 표 5에 나타내었다. M6T1 과 M6T2 의 경우는 롤러가 상·하부와 접하는 선이 형성되면서 응력집중이 예상되는 데, 이부분은 강성이 매우 강한 수직방향 스프링으로 연결하였다.

표5 경계조건

명칭	경계조건
M6T1	· Pin 과 상하 접촉면은 Sliding Surface 처리 · Roller 와 상하 접촉선은 강성이 매우 큰 스프링 처리 (z 방향 스프링계수 = 10^{10}) · xz 면에 대한 대칭 경계조건 (1/2 Modeling) · 교각부 하단면 고정경계조건
M6T2	· Pin 과 상하 접촉면은 Sliding Surface 처리 · Roller 와 상하 접촉선은 강성이 매우 큰 스프링 처리 (z 방향 스프링계수 = 10^{10}) · xz 면에 대한 대칭 경계조건 (1/2 Modeling) · 교각부 하단면 고정경계조건
F6T1	· Pin 과 상하 접촉면은 Sliding Surface 처리 · xz 면에 대한 대칭 경계조건 (1/2 Modeling) · 교각부 하단면 고정경계조건

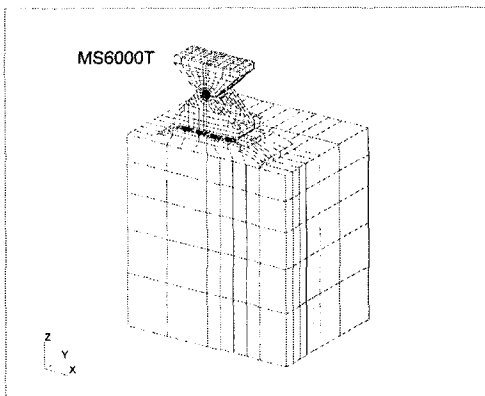


그림4 M6T1의 유한요소 모델

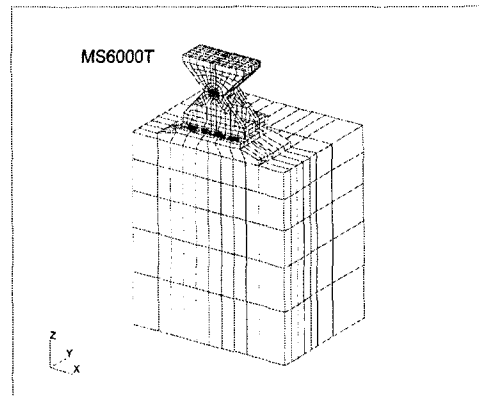


그림5 M6T2의 유한요소 모델

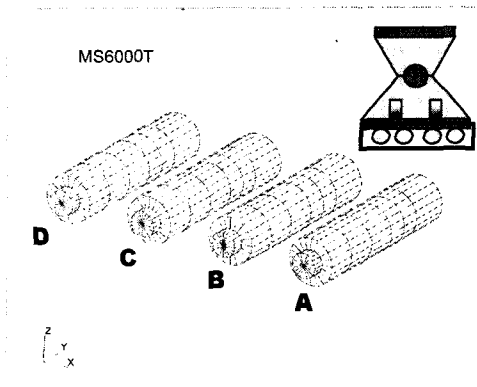


그림6 M6T1, M6T2의 Roller 부 모델

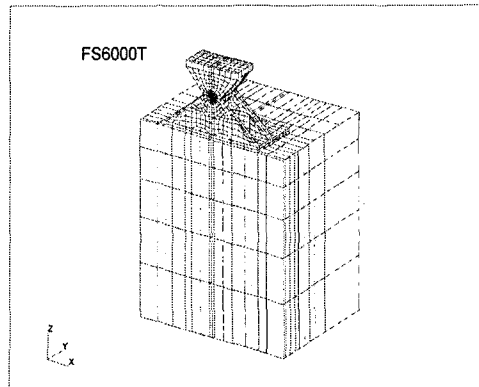


그림7 F6T1의 유한요소 모델

3. 해석 결과 및 고찰

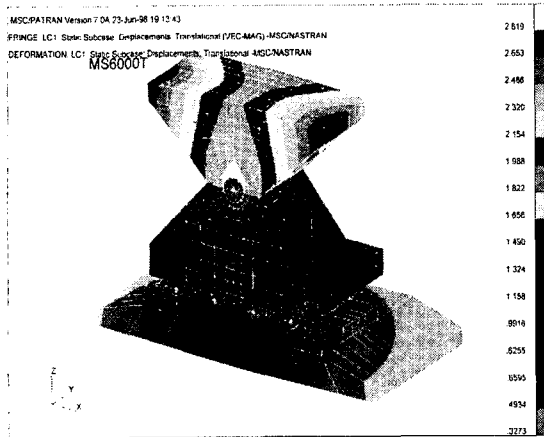


그림8 변형 (M6T1)

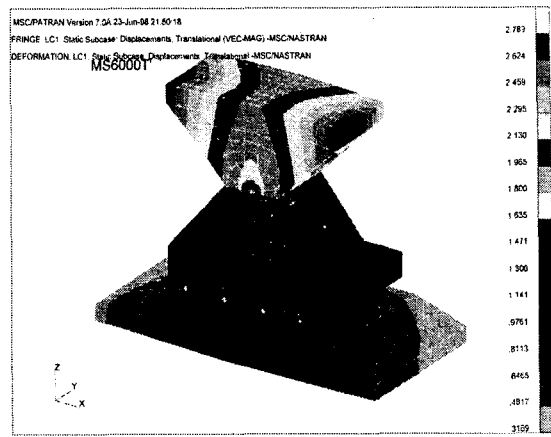


그림9 변형 (M6T2)

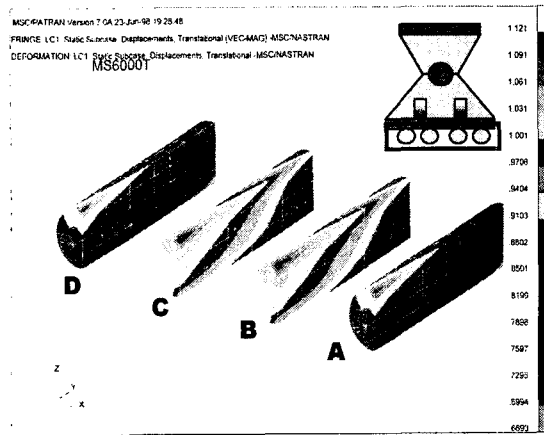


그림10 Roller 의 변형 (M6T1)

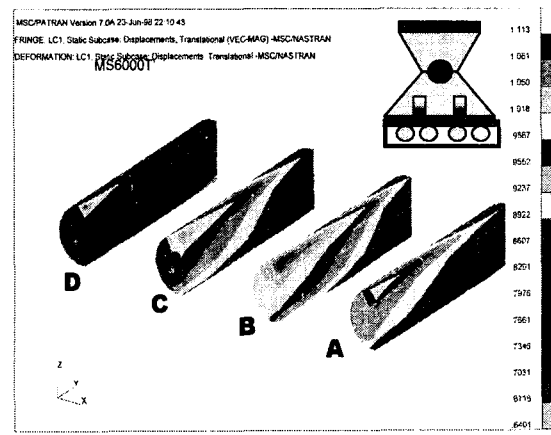


그림11 Roller 의 변형 (M6T2)

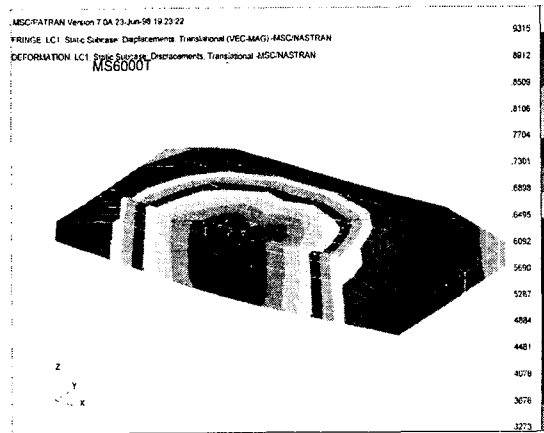


그림12 저판의 변형 (M6T1)

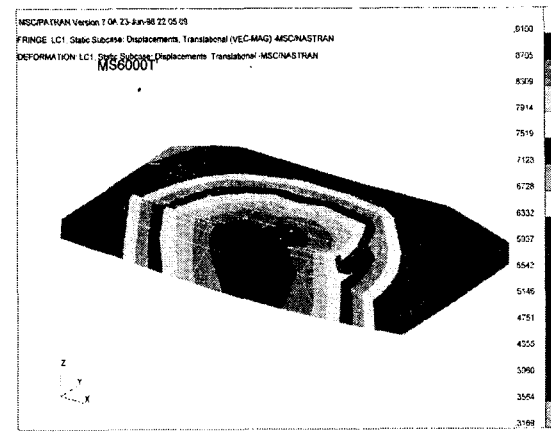


그림13 저판의 변형 (M6T2)

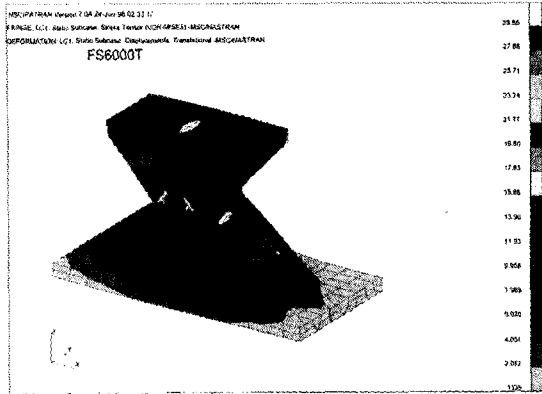


그림 14 von-Mises 응력 (F6T1)

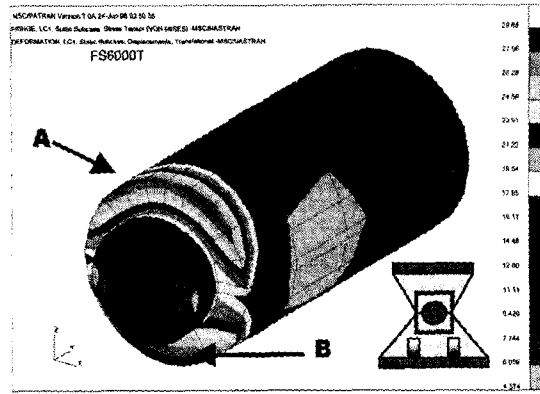


그림 15 Pin 의 von-Mises 응력 (F6T1)

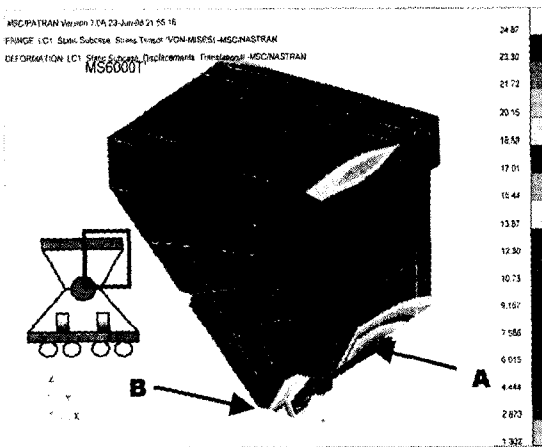


그림 16 von-Mises 응력 (M6T2)

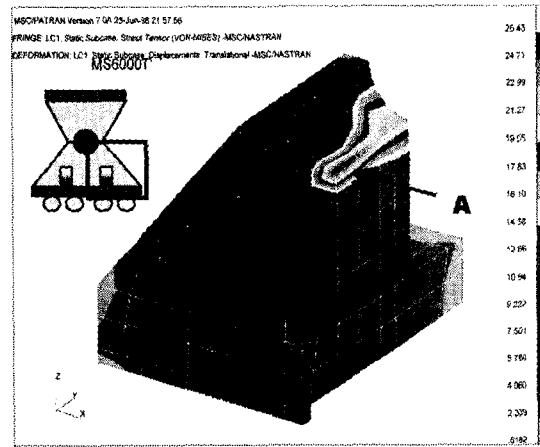


그림 17 von-Mises 응력 (M6T2)

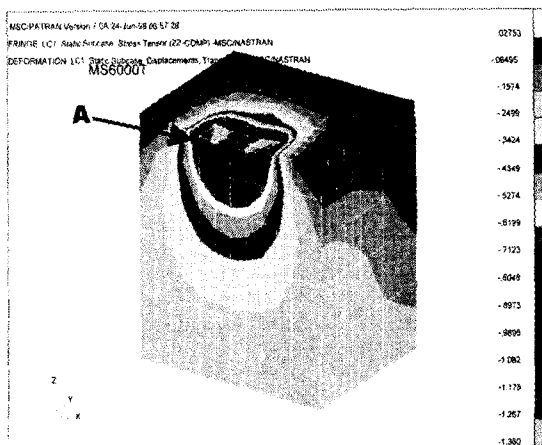


그림 18 교각의 지압응력 (M6T1)

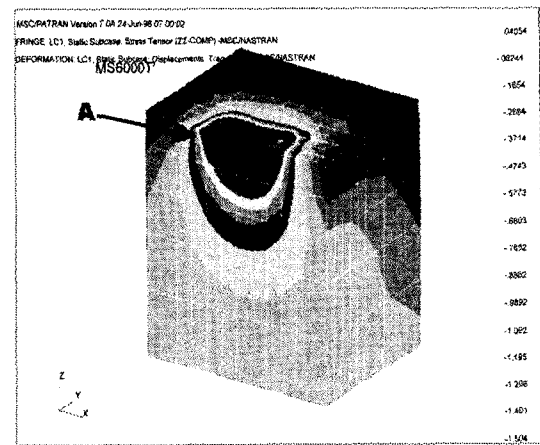


그림 19 교각의 지압응력 (M6T2)

그림 8~그림 13에 가동받침의 변형형상에 대한 등변형도를 나타내었다. 그림 8과 그림 9는 각각 이동량이 없을 때와 이동량이 있을 때에 대한 가동받침 전체의 등변형도이다. 그림 10과 그림 11은 Roller의 등변형도만 별도로 나타낸 것이다. 그림 12와 그림 13은 저판의 등변형도만 별도로 나타낸 것이다. 이동량이 없는 경우(그림 8, 그림 10, 그림 12)는 등변형도가 yz 면에 대하여 완전히 대칭이었으나 이동량이 있는 경우(그림 9, 그림 11, 그림 13)는 대칭성이 깨어지는 양상을 관찰할 수 있다. 특히 그림 10과 그림 11의 비교를 통하여 이동량이 Roller 부에 미치는 영향은 매우 크다는 사실을 알 수 있다.

그림 14~그림 17에 von-Mises 응력을 나타내었다. 그림 14는 고정받침 전체의 von-Mises 응력의 등응력도이다. 그림 15는 고정받침의 Pin 부에 걸리는 von-Mises 응력의 등응력도를 나타낸다. 여기서 Pin 중앙부의 단면의 크기가 변하는 부분(A,B)에 국부적으로 응력이 집중되는 양상을 알 수 있다. 그림 16과 그림 17은 상부와 하부의 등응력도이다. 상부와 하부는 Pin을 중심으로 그 형상이 대략적으로 상하 대칭이므로 Pin과 접하는 부분에 발생하는 응력집중부위는 비슷한 위치(A)에 발생한다. 그러나, 그림 16의 B에도 응력 집중부가 발생하는데 이는 하부에서와는 달리 상부에서는 보강리브를 통해 전달되는 하중의 영향으로 판단된다.

그림 18과 그림 19는 교각부의 지압응력에 대한 등응력도를 나타낸다. 받침이 놓이는 위치(A)에 응력 집중부가 발생하는데 그림 18은 이동량이 없는 경우, 그림 19는 이동량이 있는 경우를 나타낸다. 여기서도 이동량의 유무에 따른 응력분포의 변화양상을 알 수 있다.

그림 20은 Roller의 반력분포를 나타낸 것이다. 그림 20의 (a)는 각 Roller 별 반력의 분포형상을 나타낸 것이고 (b)는 Roller 당 총 반력을 관용계산과 비교한 것이다. 그림 20의 (b)에서 알 수 있듯이 이동량이 있을 경우 관용계산에서는 Roller A에 가장 큰 반력이 발생한다고 예측하게 되지만 유한요소해석결과는 오히려 Roller B에 가장 큰 반력이 발생함을 알 수 있다. 또한 이동량이 없을 경우도 관용계산에서는 모든 Roller에 동일한 반력이 발생한다고 계산되지만 유한요소해석결과는 외측(A,D)과 내측(B,C)에 존재하는 Roller 별로 다른 반력이 발생함을 알 수 있다.

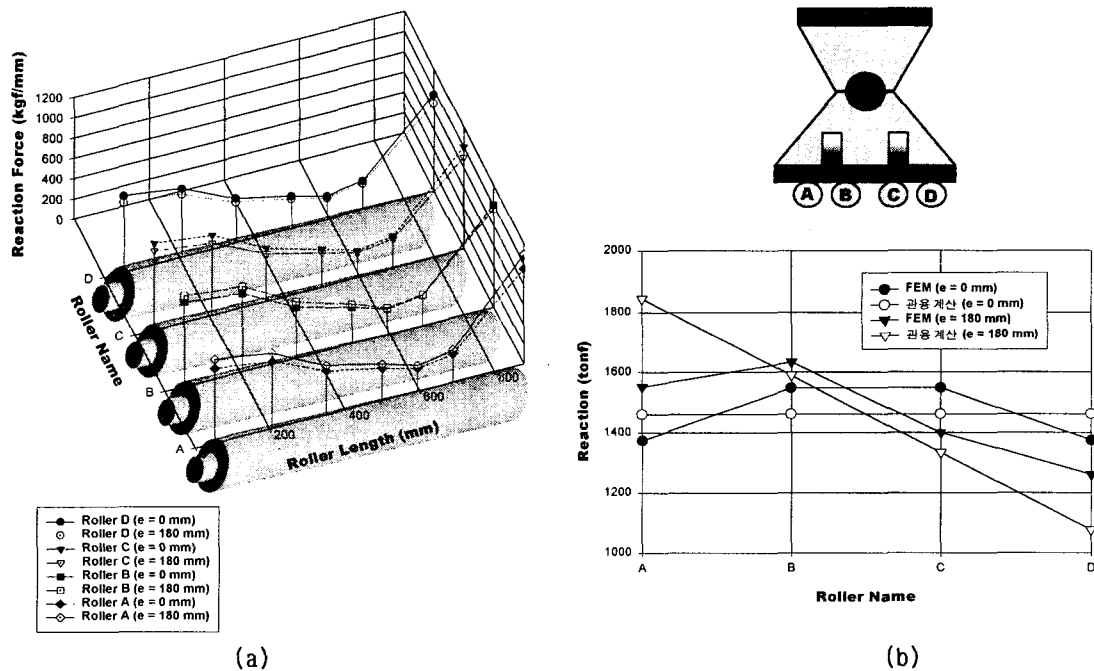


그림 20 Roller의 반력 분포 (M6T1, M6T2)

4. 제작상의 처리

그림 20 (a)와 같이 Roller의 단위길이당 반력 분포를 보면 양 끝단의 값이 평균값보다 크다는 것을 알 수 있으며 이로 인하여 Roller의 양 끝단에서 마모와 손상이 심하여 수명을 단축시킬 우려가 있다. 따라서 Roller의 제작시에 Crowning 처리가 필요하다. Crowning 처리란 Roller의 지압부 전체를 그림 21과 같이 가공하여 단부의 높은 응력을 해소하여 수명을 연장하고자 하는 방법이다.



그림21 Roller의 Crowning 처리

Crowning 반경의 결정은 일반적으로 Harris의 방법을 사용하는데 본연구의 대상구조물인 가동받침의 경우최적의 Crowning 반경은 710m로 계산되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 교량의 가동받침과 고정받침에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하고 그 해석결과를 고찰하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가동받침과 고정받침은 그 형상이 복잡하므로 관용설계법에 의한 설계를 하더라도 정밀한 3차원 유한요소해석을 수행하여 응력집중분포양상을 검토할 필요가 있다.
2. Pin을 둘러싸고 있는 상부와 하부의 응력 집중부위는 비슷한 위치에 존재하지만, 상부에서는 보강 리브를 통해 전달되는 하중으로 인한 응력집중부가 추가적으로 발생한다.
3. 가동받침에 이동량이 발생할 때에 가장 영향을 많이 받는 부재는 Roller 부분으로 판단된다.
4. 가동받침의 경우는 이동량에 따라 응력분포 양상이 바뀌므로 설계시에 이를 충분히 반영하여야 한다.
5. 가동받침의 경우 이동량이 있을 경우 최대반력을 나타내는 Roller는 관용설계에서 예상되는 외측 보다는 오히려 내측에 존재할 수 있다.
6. 가동받침의 Roller는 양 끝단은 중앙부에 비하여 과도한 응력을 받기 때문에 Roller 제작시 필요에 따라서는 Crowning 처리가 필수적이며, 이때 유한요소법에 의한 해석 결과는 매우 유용한 정보를 제공한다.

감사의 글

본 연구는 한국중공업 주식회사의 연구비 지원으로 이루어진 것으로, 이에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. “유한요소법”, 최창근, 집문당, 1992.
2. “도로교표준시방서—설계/시공 및 유지관리편—”, 대한토목학회, 1996.
3. “MSC/NASTRAN Quick Reference Guide”, Michael Reymond and Mark Miller, Macneal-Schwendler Corporation, 1994.
4. “よしま橋 3P 可動支承の設計と製作”, 平山純一, 大橋治一, 橋梁と基礎, 1986.
5. “よしま橋 3P 可動支承の設計とローラ-耐久試験”, 平山純一, 山岸一彦, 本四技報, No.37, 1986.
6. “Investigation of Optimum Crowning in Line Contact Cylinder to Cylinder Type Rolling Contact Fatigue Test Rig”, Sigeo Ito and Ikuo Sugiura, 베어링 엔지니어 No.48, 1982.
7. “Misaligned Roller Bearings” T. A. Harris, Machine Design, Aug. 29, 1968.