

# Pontoon 식 연속기초의 휨 모멘트와 전단력에 관해

A Study on the Bending Moment and Shear Force of  
Pontoon Continuous Foundation

洪 性 穆\*

Hong, Sung Mok

高 一 斗\*\*

Goh, Il Du

## ABSTRACT

For the analysis of continuous building foundation, the conventional methods assume that subgrade reaction is uniform. But for more accurate analysis, the method considering variable distribution of subgrade reaction and the conventional methods were compared. Additionally pontoon foundation to reduce the stress of foundation is introduced.

## 요 지

건축물의 연속기초해석에서 종래에는 등분포 접지압을 바탕으로 한 해석방법 위주였다. 좀더 정확한 기초판의 응력해석을 위한 변화접지압을 고려한 해석방법과 기존방법들을 비교·분석해 보고, 더 나아가 기초판에 균응력이 생길 경우 응력을 줄이기 위한 Pontoon 식 기초를 소개한다.

## 1. 서 론

연속기초판의 설계에 필요한 휨모멘트와 전단력을 구하는 방법은 등분포 접지압 방법, 독립 스트링 지지방법 및 일본 건축학회의 주각 고정방법 등 여러가지 방법이 있으나 본 논문에서는 지반을 연속 SPRING 모형으로 가정하고 이에 따른 해석방법을 제시하고 이것을 해석방법들과 비교하였다. 더 나아가서 Zeevaert 가 제시한 PONTON 식 기초의 시스템에 본 해석방법을 적용하여 폰툰식 기초판에 분포되는 휨 모멘트와 전단력을 구하고 이미 구한 일반 연속시스템

의 응력과 PONTON 식 연속기초의 응력을 비교하여 적용상의 이점을 소개하였다.

## 2. 연속기초의 응력(휨 모멘트 및 전단력)에 영향을 미치는 제반 요소

### 2.1. 지반의 영향행렬(Influence Matrix)<sup>1,2)</sup>

기초판 하부의 접지압 분포가 주어졌을 때 그 기초판의 처짐을 계산하는 방법으로 영향행렬을 사용하는 방법을 Zeevaert 는 소개 하였다. 영향행렬은 그림 1과 같이 지반을 여러 개의 구간으로 나누고 그중 한구간에 단위압력이 주어질 때 각 구간의 처짐량을 행렬의 열에 표시한 것이다.

\* 正會員, 서울大學校 建築學科 教授

\*\* 正會員, 京畿開放大學 전임강사

즉, 영향 행렬의  $i$ 행  $j$ 열의 값의 뜻은  $j$ 구간에 단위 압력이 주어졌을 때  $i$ 구간이 차지는 양으로서 지반이 균질하고 구간의 크기가 동일하다면 영향행렬은 대칭이며 각 대각항은 동일한 것으로 가정할 수 있다.

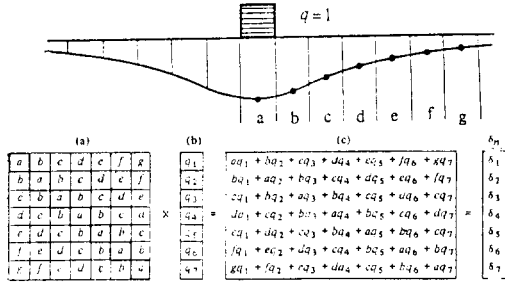


그림 1. 영향 행렬

## 2.2. 지반반력계수 (Modulus of subgrade reaction)<sup>1), 2)</sup>

지반반력계수는 이미 알려진 바와 같이 한 구간 내 평균 접지압에 해당면적을 곱한 값을 처점으로 나눈 값, 즉 (1)식으로 표현할 수 있다. (1)식의 값은 집중지지 스프링 계수이나 이 값을 소정의 스패스로 나누어 단위 길이당 연속 스프링계수  $k=k_n/L$ 로 환산하여 탄성지지보 해석 모형으로 사용하였다.

$$k_n = \frac{q_n \cdot A_n}{\delta_n} \quad \dots\dots(1)$$

## 2.3. 탄성기초의 강성행렬 (Stiffness matrix of elastic foundation)<sup>4)</sup>

기초하부에 연속적인 분포스프링이 그림 2와 같이 일정한 크기로 작용할 때 그 연속기초의 해석을 위한 미분방정식은 탄성보 해석에 적용하는 (2)식과 같이 쓸 수 있고 그 일반해는 (3)식과 같이 정리된다.

$$\frac{dy}{dx} + \frac{k}{EI}y = 0 \quad \dots\dots(2)$$

$$y = A \cos \frac{\phi}{L} x \cdot \cosh \frac{\phi}{L} x + B \cos \frac{\phi}{L} x \cdot \sinh \frac{\phi}{L} x + C \sin \frac{\phi}{L} x \cdot \cosh \frac{\phi}{L} x$$

$$+ D \sin \frac{\phi}{L} x \cdot \sinh \frac{\phi}{L} x \quad \dots\dots(3)$$

$$\phi = L \sqrt{\frac{k}{4EI}}$$

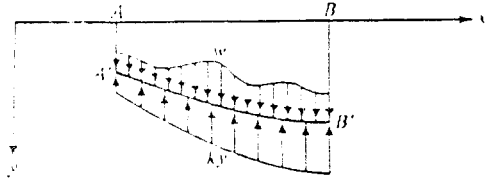


그림 2. 탄성지지보

여기서 그림 3의 형태로 강성행렬을 구성하기 위해 (3)식에 경계조건을 적용시킨 후 정리해보면, (4)식과 같이 표현된다.

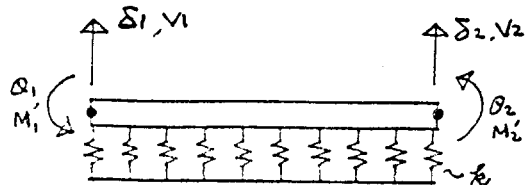


그림 3. 연속 탄성지지보 요소

	$\delta_1$	$\theta_1$	$\delta_2$	$\theta_2$
$V_1$	$T_3$	$T_5$	$-T_4$	$T_6$
$M_1$	$T_5$	$T_1$	$-T_6$	$T_2$
$V_2$	$-T_4$	$-T_6$	$T_3$	$-T_5$
$M_2$	$T_6$	$T_2$	$-T_5$	$T_1$

(4. a)

$$T_1 = \frac{2\phi(S'C' - SC)}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L} \quad \text{단, } S = \sin \phi$$

$$T_2 = \frac{2\phi(SC' - CS')}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L} \quad S' = \sin h \phi$$

$$T_3 = \frac{4\phi^3(SC + S'C')}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L} \quad C = \cos \phi$$

$$T_4 = \frac{4\phi^3(SC' + CS')}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L} \quad C' = \cos h \phi$$

$$T_5 = \frac{2\phi^2(S'^2 + S^2)}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L^2}$$

$$T_6 = \frac{4\phi^2 - SS'}{S'^2 - S^2} \frac{EI}{L^2}$$

## 2.4. 강성법에 의한 해석 (Analysis by displacement method)<sup>3)</sup>

기초판을 몇개의 구간으로 나누어 구간별 강성행렬을 구한 후 전체적으로 조합을 하여 하

중 벡터와 함께 연립방정식을 풀어 처짐을 계산하면 (5)식과 같이 정리할 수 있다.

$$[K]_{total} = \sum [K]_{element} \quad \dots\dots(5)$$

$$[K]_{total} \{ \delta \} = \{ F \}_{total}$$

이들의 처짐이 계산되면 각 구간별로 모멘트와 전단력을 구할 수 있다. 여기서 구간반력과 접지압을 구한 후 다시 2.1항에서 제시한 영향행렬로 피이드백 하여 반복계산을 시도하면 구간별로 변화된 지반반력계수를 얻을 수 있다.

### 3. 연속 기초해석을 위한 일반해석용 프로그램

#### 3.1. 해석용 프로그램의 Block diagram

그림 4는 해석용 프로그램을 Block diagram으로 나타낸 것이다.

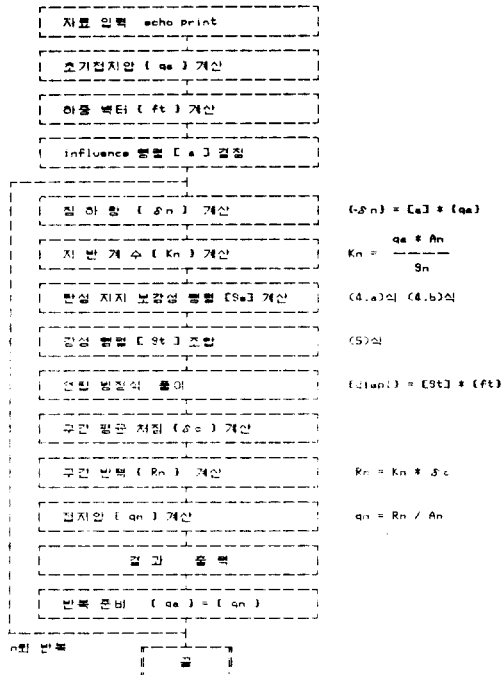


그림 4. Block diagram

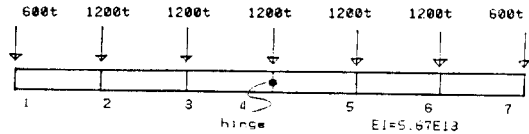
#### 3.2. 해석을 위한 제반 고려사항

초기 지압은 총하중을 총면적으로 나눈 평균지압을 사용하여 시작하며 영향행렬은 첫번째 열 단 제공하면 대칭으로 만들어 쓸 수 있도록 작성하였다. 전체 강성행렬은 대칭을 고려한 Ban-

ded matrix 형태로 조합했으며 연립방정식 해법은 Gauss elimination을 적용하였으며 이 해석들을 위한 프로그래밍 언어는 최근 구미에서 고급 일반언어로 많이 사용하는 파스칼(PASCAL)<sup>5)</sup>을 사용하였다. 하드웨어는 256 K PC를 썼다. 자료작성은 그림 5와 같이 6단계로 구성되었으며 그 순서는 다음과 같다.

- 1) 문제명
- 2) 구간수, 기초폭, 스프링타입(연속스프링/집중스프링)
- 3) 구간길이, EI, 시작점 해방, 영향행렬항: 구간수 만큼 반복
- 4) 하중있는 점 번호, Py, Moment: 하중수 만큼 반복
- 5) 000: 하중 끝표시
- 6) 반복계산수, 출력할 반복번호들.....

Example: 기초폭 1200 cm, 총 길이 60 m, 6 등분 경우



총 7번 반복하며 처음과 끝번에 출력하려면 자료는 다음과 같다.

#### EXAMPLE PROBLEM OF PONTOON

```

6 1200 c
1000 5.67e13 0 0.9445e4
1000 5.67e13 0 0.1508e4
1000 5.67e13 0 0.0241e4
1000 5.67e13 2 0.0055e4
1000 5.67e13 0 0.0015e4
1000 5.67e13 0 0.0007e4
1 -600 0
2 -1200 0
3 -1200 0
4 -1200 0
5 -1200 0
6 -1200 0
7 -600 0
0 0 0
7 1
  
```

그림 5. 자료 작성 예

#### 4. 결과 분석 및 종합

일반적으로 쓰이는 기둥지점 등 분포 반력법과 집중 스프링 해석법과 분포 스프링 해법, PONTOON 식 해법을 비교하면 그림 6과 같고, 이를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 영향 행렬에 의해 구한 지반 반력분포는<sup>1)</sup> 그림 7과 같이 대부분의 경우 양단부의 접지압이 크고 중앙부가 작다.  
(분포 범위는 등분포 반력의 0.8~2.0배) 그러나 이것에 의한 기초판 응력은 0.60~0.9배로 줄어 들었다.
- (2) 집중 스프링과 연속 스프링의 해석상 차이는 요소개수가 많을수록 줄어들며 보통의 경우(5~10등분) 모멘트 차이는 1% 이내이나 전단력의 차이는 매우 커(5~10배) 연속 스프링의 정확성이 보인다.
- (3) 변화되는 스프링 계수를 사용할 때<sup>2)</sup> 그 반복회수는 4~5 회정도이면 공학적으로 사용할 수 있는 값을 나타내어, 50회의 반복 결과의 1% 미만의 오차를 나타냈다.
- (4) 수렴 속도는 영향 행렬의 모양에 좌우됨이 확인되었다.

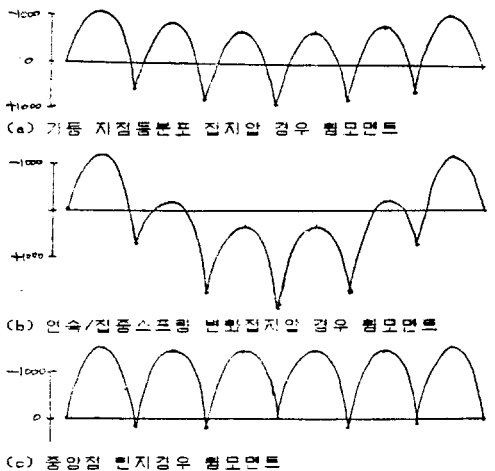
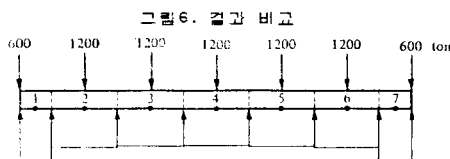
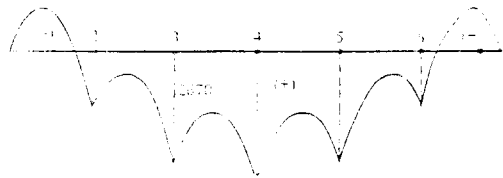


그림 6. 반력 분포

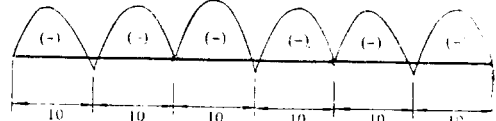


#### 5. Pontoon 식 기초에 적용되었을 때의 응력분포<sup>2)</sup>

일반적으로 양단접지압이 클 때의 모멘트 분포는 그림 7과 같이 중앙이 크게 나타난다. 이 점을 개선하기 위한 방법으로 Zeevaert 가 제시한 바와 같이 특히 긴 아파트의 Expansion joint 와 같은 곳에서 그림 8과 같이 기초를 분리하거나 한지를 두어 모멘트를 줄일 수 있는 방법이 Pontoon 식 방법이다. 이 결과를 비교해 보면 전단력을 해방(release)시킬 때에는 (그림 8(b) 경우) 휨 모멘트의 감소가 적고 한지로 모멘트를 해방시키면 (그림 8(c) 경우) 모멘트와 더불어 전단력도 줄어든다.



(a) 연속 기초의 휨모멘트



(b) 8 및 5절점에 한지를 둘 때의 휨 모멘트

그림 7. Pontoon 식 기초의 모멘트 분포

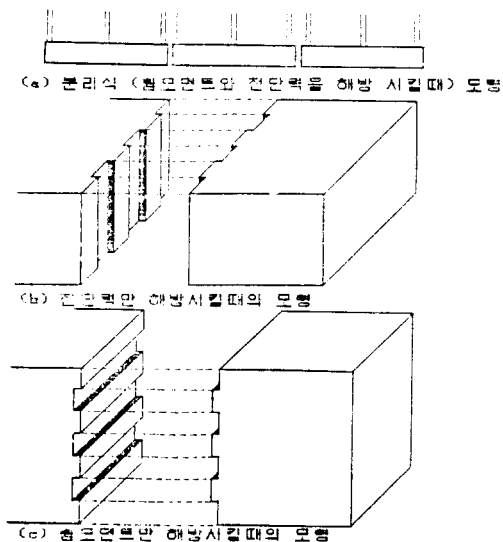


그림 8. Pontoon 식 기초의 유형

## 6. 결 론

본 연구는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 본 해석방법의 특징은 연속 스프링을 적용하여 집중스프링에 의한 해석시보다 부재를 크게 해석해도 정확한 전단력을 구할 수 있다.
- (2) 기존 프로그램으로서는 여러번의 중간 수작업을 거쳐 반복하였던 것을 자동으로 반복시킴으로서 속도와 정확도를 높일 수 있다.
- (3) 연속 스프링을 사용함으로써 집중 스프링을 사용했을 때보다 전단력 분포를 실세에 접근하여 구할 수 있는 결과를 얻었다.

추가 연구 해야할 사항을 나열하면

- (1) 영향행렬 결정에서 특별한 지반 조사나

다른 큰 F.E.M. 프로그램에 의하지 아니하면서 적합한 영향행렬항을 결정할 수 있는 방법의 제시

- (2) Pontoon 식 기초의 Plastic moment<sup>2)</sup>를 고려한 해석(비선형 해석) 방법의 연구

### 參 考 文 獻

1. 홍성목, 기초지반의 지지력 분포와 기초구조의 응력분포에 대한 연구, 대한건축학회지, 76년 6월호.
2. Zeevaert, Leonardo : Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, VNR Co. N.Y. 1972.
3. Bowles, J.E. : Foundation analysis and design, McGraw-Hill Co. N.Y. 1967.
4. C.K. Wang : intermediate structural Analysis, McGraw-Hill, 1983.
5. Borland : TURBO PASCAL Version 3.0 reference manual, 1983.