

# 슬래브의 형상 및 다우웰 바의 영향을 고려한 줄눈 콘크리트 포장의 역해석

## Backcalculation of JCP Considering the Effect of Slab Shape and Dowel Concrete Interaction

유태석\* · 한승환\*\* · 양성철\*\*\*

### 1. 서 론

Ioannides에 의해 1989년에 최초로 제안된 이후 Hall에 의해 사용하기 쉬운 형태로 발전되어 1993년도 AASHTO설계법에 채택된<sup>1)</sup> closed-form backcalculation은 무한 넓이의 판을 근간으로 유도된 것으로 줄눈 콘크리트포장에 적용하기에는 모순을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 Crovetti는 1994년 유한크기의 포장에 Closed-form backcalculation을 적용하기 위한 보정계수를 유도하였고<sup>4)</sup> Hall 등은 면적평균을 사용하여 고속도로에 사용되는 직사각형 포장의 지지력을 계산할 수 있도록 하였다.<sup>3)</sup> 그러나 탄성계수의 역산에 미치는 영향과 그 보정에 대한 고찰은 이루어지지 않았고 단일슬래브에 대하여 유도가 되었으므로 줄눈에 다우웰바가 존재하는 경우 그 결과의 신뢰도는 떨어지게 된다. 본 연구에서는 포장의 형상과 다우웰 바의 영향에 따른 포장해석을 실시하였고 그 결과를 바탕으로 올바른 콘크리트포장 역해석 결과를 얻기 위한 방안을 제시하였다.

### 2. AASHTO의 역산절차와 유한판으로의 확대

AASHTO에 제시된 closed-form backcalculation은 slab-on-grade 형식의 포장에 대한 무한 넓이의 판에 대한 Westergaard의 공식을 기초로 유도되었으며 표 1과 같은 절차에 따라 수행된다.

---

\* 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 연구원 (☎ 02-2230-4854)

\*\* 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 책임연구원 (☎ 02-2230-4659)

\*\*\* 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 책임연구원 (☎ 02-2230-4854)



표 1. AASHTO 방법에 의한 콘크리트포장 역산절차

순서	내용	산정방법
1	치짐 측정	슬래브의 중앙부에 하중을 가하고 FWD의 재하판에서 0, 12, 24, 36inch 떨어진 지점의 치짐측정
2	AREA 계산	$AREA = 6[1 + 2(\frac{d_{12}}{d_0}) + 2(\frac{d_{24}}{d_0}) + (\frac{d_{36}}{d_0})]$
3	상대강성반경 계산	$l_k = [\frac{\ln(\frac{36 - AREA}{1812.279133})}{-2.559340}]^{4.387009}$
4	지지력 계산	$k = (\frac{P}{8d_0 l_k^2})(1 + (\frac{1}{2\pi}) \times [\ln(\frac{a}{2l_k}) + \gamma - 1.25])(\frac{a}{l_k})^2$
5	탄성계수 계산	$E = \frac{12(1 - \mu^2) l_k^4 k}{h^3}$

위의 절차를 유한판에 적용하는 경우 실제와 다른 치짐 값이 계산되며 슬래브의 길이와 상대강성반경의 비(L/l)가 8보다 작은 경우 최대치짐과 상대강성반경은 이론값 보다 커지는 경향을 나타낸다. Crovetti는 이러한 경향을 보정하기 위해 AASHTO공식과 ILLISLAB결과를 비교하여 다음과 같은 절차를 통한 지지력 보정방법을 제시하였다.4)

표 2. 유한판에 대한 지지력 보정절차

순서	내용	산정방법
1	상대강성반경 보정	$l_k = l_{est} \times CF_{l_{est}}$ $CF_{l_{est}} = 1 - 5.29875 \exp[-2.17612(\frac{l}{l_{est}})^{0.49895}]$
2	최대치짐 보정	$d_0 = d_{0est} \times CF_{d_{0est}}$ $CF_{d_{0est}} = 1 - 1.06817 \exp[-0.66914(\frac{l}{l_{est}})^{0.84408}]$
3	보정 값에 의한 지지력 계산	$k = (\frac{P}{8d_0 l_k^2})(1 + (\frac{1}{2\pi}) \times [\ln(\frac{a}{2l_k}) + \gamma - 1.25])(\frac{a}{l_k})^2$

### 3. 슬래브의 형상 및 다우웰바에 의한 영향

위의 공식은 정사각형 슬래브를 기준으로 유도된 공식으로 일반적인 고속도로 포장에 적용하기 위해서는 Crovetti의 공식에 포함된 L 대신 Hall 등이 제안한  $\sqrt{L_1 L_2}$ 를 슬래브의 길이로 사용하여야 만족할 만한 지지력의 역산 값을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이것은 1개의 슬래브에 대한 분석결과로 다우웰 바로 연결되어 있는 경우에는 적용할 수 없는 방법이다.

본 연구에서는 88고속도로의 대표적인 슬래브 형태에 대하여 그 영향을 분석하였고 이 경우 탄성계수의 역산 값은 어떠한 경향을 나타내는지 조사하였다. 또한 다우웰 바가 존재하는 경우 AASHTO의



절차에 의한 역산 값은 어떠한 영향을 받는지 조사하였다.

### 3.1 해석모델 및 변수

형상에 따른 영향분석을 위한 슬래브의 크기는 5.0×3.8m로 대칭조건을 사용하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 프로그램은 ILLISLAB로 하중크기 4.08ton에 대하여 0, 30.48, 60.94, 91.44cm에서의 처짐 값을 구하고 AREA와 상대강성반경을 계산하여 Westergaard의 공식을 통해 지지력을 구하였으며 Crovetti의 공식을 통해 보정하였다. 해석모델은 그림 1과 같으며 인접슬래브와 다우웰 바를 제외한 모델이 형상에 의한 영향분석에 사용되었다.

다우웰 바에 의한 영향은 줄눈의 처짐 및 응력에 가장 많은 영향을 미치는 다우웰-콘크리트 상호작용에 따른 거동을 분석하였다.2)5) 따라서 골재맞물림은 그 영향을 무시하였고 나머지 변수에 대하여는 고속도로 포장에 주로 사용되는 값을 입력하였다. 줄눈폭의 경우 6mm를, 철근은 2,038,700kg/cm<sup>2</sup>의 탄성계수와 30.48cm의 배치간격을 사용하였고 포이슨 비는 0.3을 적용하였다. 다우웰-콘크리트 상호작용에 대한 변수(DC I)는 신설포장에 나타날 수 있는 값인 712t/cm, 보통의 포장에 적용되는 178t/cm와 손상된 포장에 해당하는 89t/cm에 대하여 검토하였다.

분석변수는 콘크리트 탄성계수, 지반 지지력과 포장두께로 린콘크리트 층은 없는 상태이다. 탄성계수는 210,900kg/cm<sup>2</sup>, 281,200kg/cm<sup>2</sup> 및 351,500kg/cm<sup>2</sup>을 사용하였고 지반 지지력은 2.76kg/cm<sup>3</sup>, 5.52kg/cm<sup>3</sup> 및 8.28kg/cm<sup>3</sup>을 사용하였으며 25.4cm, 30.48cm 및 35.5cm의 포장두께를 선택하여 모두 27가지 조합의 포장물성에 대한 검토를 수행하였다. .

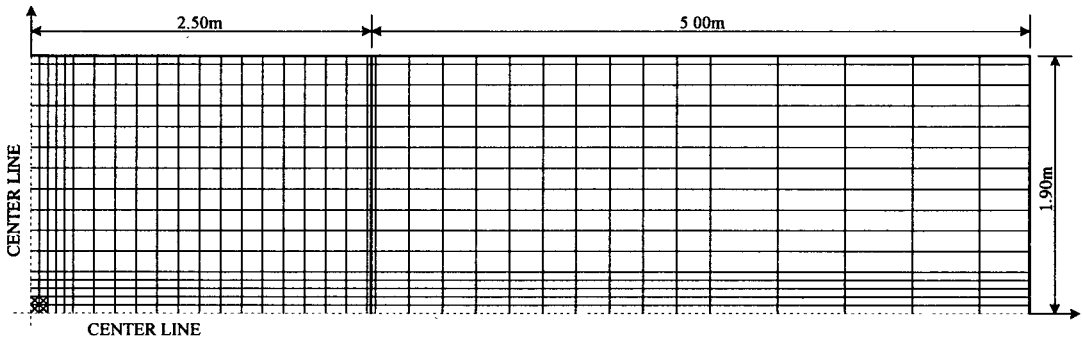


그림 1. 해석을 위한 FEM 모델

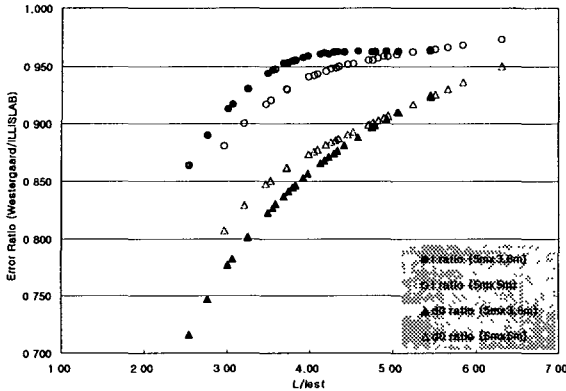
### 3.2 포장해석 결과

#### 3.2.1 최대처짐 및 상대강성반경

유한크기의 슬래브에서 발생하는 최대처짐과 상대강성반경은 무한 크기인 경우 보다 크게 나타나며 슬래브와 상대강성반경의 비가 작아질수록 더 큰 차이를 나타낸다. 이러한 경향은 슬래브의 형상이 정사각형이나 직사각형이나에 따라 달라지며 그림 2와 같다. 따라서 최대처짐과 상대강성반경의 경향

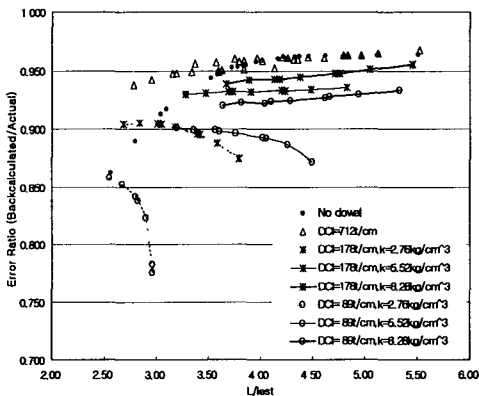


이 달라지므로 이를 기초로 계산되는 지지력 및 탄성계수는 무한판에서 얻어지는 결과와 달라지게 된다.

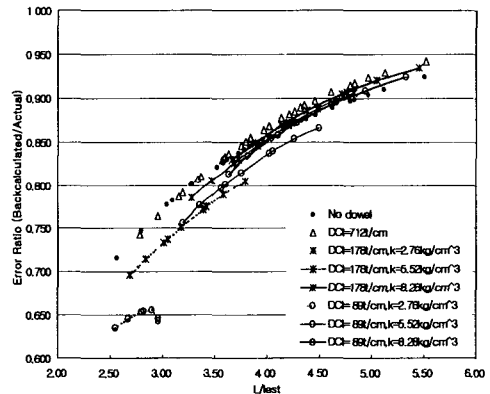


여기에 다우웰바의 영향을 고려하는 경우 더욱 복잡한 양상을 띄게되는데 DCI가 큰 경우 일정한 경향의 곡선을 나타내지만 DCI가 작은 경우에는 지지력의 크기에 따른 곡선이 존재하게 되어 단일슬래브에 적용되는 것과는 다른 방식의 역산이 필요한 것으로 판단된다.

그림 2. 형상비에 따른 상대강성반경과 최대처짐의 오차비



(a) 상대강성반경 오차비

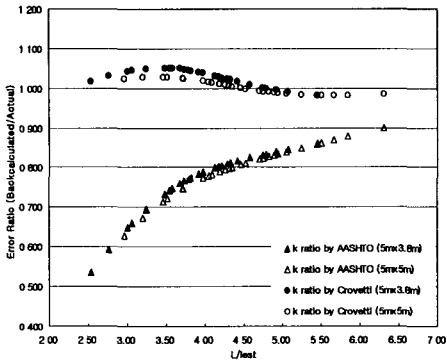


(b) 최대처짐의 오차비

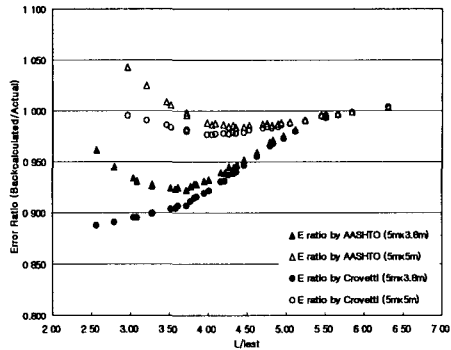
그림 3. DCI의 변화에 따른 상대강성반경과 최대처짐의 오차비

### 3.2.2 지지력 및 탄성계수

형상비 만을 고려한 경우의 지지력 및 탄성계수를 AASHTO방법으로 구하고 Crovetti공식을 통해 보정 하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 지지력의 경우는 Crovetti의 공식을 통해 적절한 값을 얻을 수 있었으나 탄성계수의 경우는 무시하기 힘든 오차가 존재하는 것으로 판단되어 형상에 따른 회귀분석을 수행하거나 그림 4와 같은 역산도표의 도입이 필요한 것으로 판단되었다.



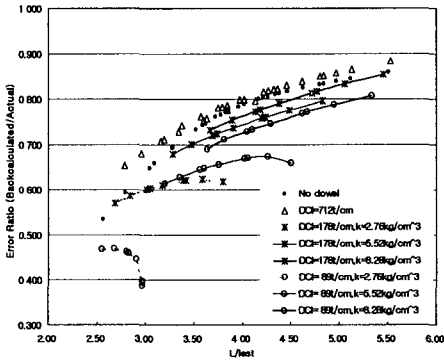
(a) 지지력에 대한 오차비



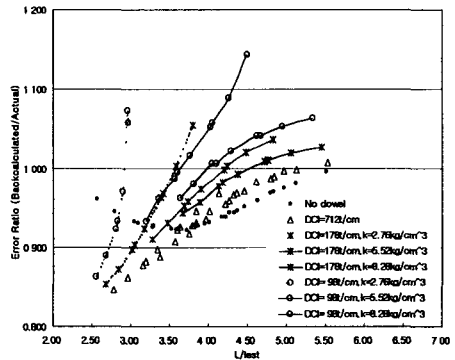
(b) 탄성계수에 대한 오차비

그림 4. 형상비에 따른 지지력 및 탄성계수의 오차비

다우웰 바가 존재하는 경우에는 더욱 복잡한 양상을 가지게 되는데 DCI가 높은 경우 약간의 편차를 가지지만 일정한 경향을 가지고 DCI가 낮아지면 지지력에 따른 곡선이 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 한 가지의 L/lest에 여러 개의 역산결과가 존재할 수 있음을 알 수 있었고 지지력의 경우는 모든 직선의 경향이 역산결과가 참값보다 작은 결과를 보였으나 탄성계수의 경우는 참값을 넘어서서 발산하는 경향을 보여 역산결과의 해석에 주의를 기울여야 하는 것으로 나타났다.



(a) 지지력에 대한 오차비



(b) 탄성계수에 대한 오차비

그림 5. DCI에 따른 지지력 및 탄성계수의 오차비

## 4. 결론

현재 콘크리트포장의 역해석에 사용되는 AASHTO closed-form backcalculation에 미치는 슬래브의



형상 및 다우웰 바의 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 임의의 형상을 가진 슬래브에 대하여 AASHTO 방법으로 구한 역산결과를 Crovetti 공식에 의해 보정한 지지력은 합리적인 결과를 나타내었으나, 탄성계수의 경우 무시하기 힘든 오차를 유발하는 경향을 나타내어 추가적인 회귀분석이나 역산도표가 필요한 것으로 판단되었다.
- 2) 다우웰 바가 존재하는 경우에 대한 역산을 수행하였으며 DCI가 낮은 값을 가지는 경우 지지력의 크기에 따라 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 중앙지점과 함께 줄눈에서의 측정을 실시하여 DCI를 역산한 후 중앙지점의 역산결과를 보정할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- 1) AASHTO, "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures," 1993.
- 2) Dennis R. Hiltunen and Reynaldo Roque, "Backcalculation of System Parameters for Jointed Rigid Pavements," Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli (Second Volume) ASTM STP 1198, ASCE, 1994, pp. 440-454.
- 3) Hall, K. T., Darter M. I. and Khazanovich L., "Validation of Guidelines for k-Value Selection and Concrete Pavement Prediction," FHWA-RD-96-198, 1997.
- 4) James A. Crovetti, Mercedes R. Tirado Crovetti, "Evaluation of Support Conditions Under Jointed Concrete Pavement Slabs," Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli (Second Volume) ASTM STP 1198, ASCE, 1994, pp. 455-472.
- 5) Mohammed A. Ozbeki, W. P. Kilaeski, and D. A. Anderson, "Evaluation Methodology for Jointed Concrete Pavements," Transportation Research Record 1043, 1984, pp. 1-8.