

## 포장강성을 고려한 콘크리트 포장하부 공동유무 평가방법

### A Method for Evaluation of Hollow Existence in Sublayers of Concrete Pavement Considering Pavement Stiffness

손 덕 수 Sohn, Dueck Su  
이 재 훈 Lee, Jae Hoon  
정 호 성 Jeong, Ho Seong  
박 주 영 Park, Joo Young  
정 진 훈 Jeong, Jin Hoon

정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail: mgsds@ex.co.kr)  
정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail: ranian74@ex.co.kr)  
학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail: hosung0824@naver.com)  
정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail: pjy0704@naver.com)  
정회원 · 인하대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail: jhj@inha.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The existing method evaluating the existence of the hollows in concrete pavement does not consider the stiffness of pavement. In addition, the method uses unreasonable logic judging the hollow existence by the deflection caused by zero loading. In this study, the deflection of slab corner due to heavy weight deflectometer (HWD) was measured in concrete pavement sections where underground structures are located causing the hollows around them.

**METHODS :** The modulus of subgrade reaction obtained by comparing the actual deflection of slab to the result of finite element analysis was calibrated into the composite modulus of subgrade reaction. The radius of relative stiffness was calculated, and the relationship between the ratio of HWD load to the radius of relative stiffness and the slab deflection was expressed as the curve of secondary degree.

**RESULTS :** The trends of the model coefficients showing width and maximum value of the curve of secondary degree were analyzed by categorizing the pavement sections into three groups : hollows exist, additional investigation is necessary, and hollows do not exist.

**CONCLUSIONS :** The results analyzed by the method developed in this study was compared to the results analyzed by existing method. The model developed in this study will be verified by analyzing the data obtained in other sections with different pavement structure and materials.

#### Keywords

concrete pavement, hollow, underground structure, radius of relative stiffness, curve of secondary degree

Corresponding Author : Jeong, Jin Hoon, Associate Professor  
Department of Civil Engineering, Inha University,  
100 Inha-ro, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea  
Tel : +82.32.860.7574 Fax : +82.32.873.7560  
email : jhj@inha.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ijhe.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

#### 1. 서론

도로포장의 하부층은 건설 당시 엄격한 다짐관리를 통해 시공되지만 시간이 경과함에 따라 품질이 저하되어 결국 포장의 공용성에 영향을 미친다. 지중구조물 뒷

채움부 등에서는 포장하부의 구조 및 재료, 그리고 시공의 조건에 따라 다짐의 어려움, 배수불량, 그리고 지하수위 상승 등이 원인이 되어 지지력이 약해지거나 공동이 생성된다. 이로 인해 도로포장에는 침하와 균열이 발

생하고, 결국 공용수명이 단축된다(박주영 등, 2012).

하부층이 원인이 되어 파손이 발생한 포장의 보수여부는 먼저 보수가 필요하다고 판단되는 구간을 선정하고 포장하부의 상태를 평가하여 결정된다. AASHTO 93년도 설계지침과 ASTM STP 1375에서는 FWD(Falling Weight Deflectometer) 등과 같은 포장구조 진단기를 사용하여 콘크리트 슬래브 우각부에 재하된 하중과 이로 인해 그 위치에서 발생한 처짐의 상호관계를 사용하여 하부층의 공동여부를 평가한다. 국내에서도 이들 국외 포장관리 지침을 근거로 공동 발생여부를 평가하고 있다(유태석 등, 2004). 하지만, AASHTO와 ASTM에서 제시한 기존 방법은 하중이 0일 때의 처짐을 판단의 기준으로 사용하므로 논리에 맞지 않는다. 게다가 포장의 강성이 슬래브 처짐에 영향을 미치는 중요한 요인임에도 전혀 고려하지 않고 있다.

본 논문에서는 포장하부의 공동으로 인해 슬래브에 파손이 발생된 것으로 예상된 지중구조물이 통과하는 고속도로 콘크리트 포장 구간에서 한국도로공사의 HWD(Heavy Weight Deflectometer)를 이용하여 하중 크기에 따른 슬래브 우각부의 처짐을 분석하고 기존에 제시된 방법에 따라 공동유무를 평가하였다. 기존에 제시된 공동평가방법의 문제점을 보완하기 위해 콘크리트 포장을 유한요소 모형으로 구현하여 지지력계수를 역산하고 상대강성반경을 계산하여 처짐과 하중-상대강성반경의 비의 관계를 분석하였다. 또한 이들의 관계를 수식으로 표현한 후 공동유무평가에 필요한 기준을 제시하였다.

## 2. 기존의 공동 유무 평가방법

도로포장은 시간의 경과에 따라 성토층의 압밀침하, 배수불량, 그리고 지하수위 상승 등의 원인으로 지지력이 저하되며, 이러한 현상은 지중구조물이 매설된 구간에서 더욱 빈번하게 발생된다. 이와 같은 원인으로 인해 슬래브에는 국부적인 침하와 균열이 발생하며, 이에 대한 보수 규모와 방법 등을 판단하기 위해 포장하부의 상태를 평가하고 공동유무를 예측하게 된다. 포장하부의 공동유무 평가방법으로는 코어 채취와 같은 파괴시험 방법과 FWD 또는 GPR(Ground Penetrating Radar) 장비를 이용한 비파괴시험 방법이 있다. 파괴시험을 이용한 평가방법은 포장하부의 상태를 파악할 수 있는 가장 확실한 방법이지만 시험 자체가 파손의 원인이 되어 포장의 수명을 감소시키는 문제점이 있다. 반면

비파괴시험의 경우는 시험 결과의 판단 수준에 따라 포장하부 상태평가의 결과가 달라지므로 파괴시험에 준하는 신뢰도를 확보하기 위해서는 더 많은 연구가 필요한 실정이다(우정원, 2001).

비파괴시험에 의한 포장하부의 공동유무 평가방법 중 하중에 따른 슬래브 처짐 분석방법은 FWD와 같은 포장구조 진단기를 사용하여 슬래브의 우각부에 여러 단계의 하중을 재하하면서 그 곳의 처짐의 변화를 측정하는 것이다. Fig. 1과 같이 하중에 따른 처짐 변화의 관계를 그래프에 점으로 나타낸 후 직선의 추세선으로  $x$  축까지 연결하여 그 절편으로 공동유무를 평가한다. 포장하부의 상태가 양호한 경우에는  $x$  축의 절편이 원점에 근접하지만 공동이 존재하는 등의 이유로 지지력이 크게 저하된 경우에는 작은 하중에도 처짐이 크게 발생하므로 축의 절편이 원점에서 크게 벗어난다. AASHTO 93년도 설계지침과 ASTM STP 1375에서는 하중 변화에 따른 우각부 처짐의 변화를 분석하여 포장하부의 공동유무를 평가하는 기준을 제시하였다. AASHTO 93년도 설계지침에서는 추세선의 축 절편이 0.050mm 이하인 경우 포장하부에 공동이 없는 것으로 판단하도록 제시하였다. 그리고 ASTM STP 1375에서는 축 절편이 0.075mm 이상인 경우 공동존재 구간으로 판단하고, 0.050mm~0.075mm 범위에 속할 경우 코어 채취 등 추가조사 결과에 따라 평가하도록 기준을 제시하였다.

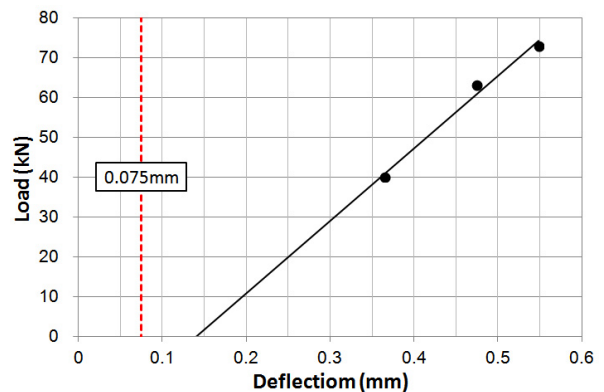


Fig. 1 Trend Line of Relation between Deflection and Load

## 3. 포장하부 상태 현장조사

일반 토공부의 포장하부는 비교적 공동이 발생하기 어려운 조건이지만 지중구조물 주변은 지중구조물의 지장을 받아 다짐이 어려우므로 지반이 장기적으로 침하되어 슬래브 하부에 공동이 생기기 쉽다(한승환 등, 2000). 따라서 본 연구에서는 콘크리트 포장하부에 박

스형 암거가 매설된 국내 고속도로 구간 중 슬래브에 횡방향 균열이 발견된 곳을 공동유무의 평가구간으로 선정하였다. 그리고 한국도로공사의 HWD를 사용하여 49kN, 93kN, 그리고 115kN의 단계별 하중을 슬래브 우각부에 재하하여 하중에 따른 우각부 처짐의 변화를 분석하였다.

Table 1과 같이 콘크리트 포장 슬래브에 횡방향 균열이 발생된 것으로 보고된 지중구조물이 통과하는 편도 2차로의 A 고속도로 3개 구간과 B 고속도로 2개 구간의 총 5개 구간에서 각각 7개~9개의 슬래브(약 40m~50m 연장)에 대해 현장조사를 수행하였다. 확인 결과 모든 구간의 지중구조물 바로 위 1차로와 2차로의 슬래브 모두에서 횡방향 균열이 발생되었다. A 고속도로의 경우, Table 2와 같이 하행선 69.24km 구간에서 지중구조물 중앙과 차량이 떠나가는 방향의 지중구조물 측면에서 슬래브에 횡방향 균열이 발생하였고, 하행선 83.70km와 상행선 87.08km 구간에서는 지중구조물 양 측면에서 슬래브에 횡방향 균열이 발생하였다. B 고속도로 하행선 76.12km 구간에서는 차량이 떠나가는 방향의 지중구조물 측면의 슬래브에, 그리고 76.16km 구간에서는 지중구조물 중앙의 슬래브에 각 1개씩의 횡

방향 균열이 발생하였다. 이 외에도 수준측량을 사용하여 본 연구에서 길어깨 끝단과 지중구조물 상단의 높이 차이로 정의된 토피고를 계측하였다. 전체 조사구간의 토피고는 Table 2와 같이 0.450m~1.086m의 범위로 나타나 매우 낮은 깊이에 매설된 지중구조물이 슬래브의 횡방향균열 발생에 영향을 준것으로 확인되었다.

현장조사구간의 편도 2차로 중 외곽 차로에서 구간당 7개~9개의 슬래브(약 40m~50m 연장)에 대해 HWD 장비를 사용하여 하중 크기에 따른 슬래브의 처짐을 측정하였다. Fig. 2는 조사구간 중 A 고속도로 상행선 87.08km 구간의 포장 상태를 나타낸 것으로 줄눈 양쪽의 슬래브 우각부에 번갈아 하중을 재하하고 그 위치의 처짐을 측정하였다. 그림에 보인 숫자는 지점번호로서 앞의 숫자는 줄눈의 번호를 나타내며, 뒤의 숫자는 줄눈을 기준으로 좌측 슬래브는 1, 우측 슬래브는 2로 표시하였다.

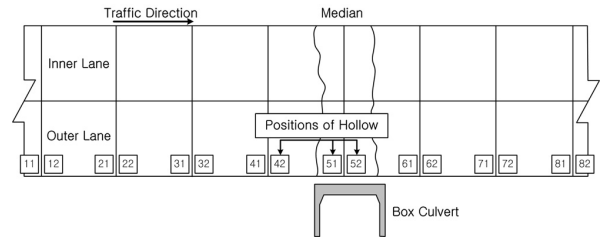


Fig. 2 Example of Field Investigation Section (87.08km at Up Line of Expressway A)

Table 1. Sections of Field Investigation

Section No.	Location of Section	Underground Structure No.
1	69.24km at down line of expressway A	C-20
2	83.70km at down line of expressway A	C-57
3	87.08km at up line of expressway A	C-73
4	76.12km at down line of expressway B	D-139
5	76.16km at down line of expressway B	D-140

AASHTO 93년도 설계지침에 제시된 절차에 근거하여 HWD 하중 크기에 따라 발생한 슬래브 우각부의 처짐의 변화를 분석하였다. Table 1에 보인 현장조사 5개 구간의 총 68개 지점 중 1번과 2번 구간의 각 1개 지점과 3번 구간의 3개 지점에 대한 처짐-하중 관계 추세선의  $x$ 절편은 각각 0.128mm, 0.102mm, 0.080mm, 0.141mm, 그리고 0.160mm로 크게 나타났고 ASTM STP 1375에서 제시하는 공동존재의 판단기준인

Table 2. Results of Field Investigation

Section	Cracking Existence	Location of Cracking			Soil Cover (m)	
		Center of Underground Structure	Side of Underground Structure			
			Approaching Direction	Leaving Direction		
Expressway A	69.24km at down line	Yes	O	X	O	0.453
	83.70km at down line	Yes	X	O	O	1.086
	87.08km at up line	Yes	X	O	O	0.450
Expressway B	76.12km at down line	Yes	X	X	O	0.727
	76.16km at down line	Yes	O	X	X	1.020

0.075mm를 초과하여 포장하부에 공동이 존재하는 것으로 예측되었다. 또한, 1번과 3번 구간의 각 1개 지점은  $x$ 절편이 0.050mm~0.075mm의 범위에 속하여 공동존재 확인을 위한 추가조사가 필요한 것으로 분석되었다. 공동이 존재하는 지점과 추가조사가 필요한 지점은 모두 균열에 인접한 줄눈으로 나타났다. 반면, B 고속도로 모든 지점의  $x$ 절편은 균열에 인접한 지점까지 모두 0.050mm 미만으로 나타나 포장하부에 공동이 존재하지 않는 것으로 예측되었다. Fig. 3에서 실선은 공동이 없는 지점에 대한 범위, 파선은 추가조사가 필요한 지점에 대한 범위, 점선은 공동이 존재하는 지점에 대한 범위를 처짐-하중 관계의 그래프에 나타낸 것이다.

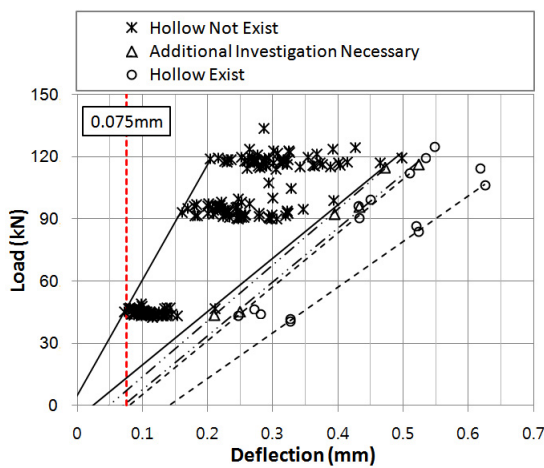


Fig. 3 Evaluation Results by Existing Method

#### 4. 슬래브 처짐에 대한 포장 강성의 고려

AASHTO 93년도 설계치침 및 ASTM STP 1375에서 제시된 포장하부 공동유무 평가방법에서는 하중과 슬래브 처짐의 관계만 언급되고 포장의 강성은 고려되지 않고 있다. Fig. 3과 같이 포장의 강성이 작으면 포장에 발생하는 최대 처짐이 클 뿐 아니라 발생 가능한 처짐의 대부분이 작은 하중에 발생하므로 절편이 커지게 된다. 이와 반대로 포장의 강성이 크면 처짐이 하중에 따라 선형에 가깝게 증가하여 절편이 상대적으로 작아진다.

본 논문에서는 콘크리트 포장의 강성을 고려하기 위하여 현장조사 전체 구간의 슬래브 중앙부에 하중을 재하하여 슬래브의 처짐형상을 측정하고 슬래브 바로 아래에서의 지지력계수를 AREA 방법으로 역산하였다. 하지만, 역산된 지지력계수가 일정한 경향을 보이지 않아 본 연구에서는 현장조사 결과 대신 콘크리트 포장 전용 프로그램인 EverFE를 사용하여 유한요소해석을 수

행하고 지지력계수를 추정하였다. 고속도로 건설공사 표준도(한국도로공사, 2009)를 참고하여 Fig. 4와 같이 길이 6.0m, 폭 4.1m, 두께 300mm의 콘크리트 슬래브를 2행(횡방향) 3열(종방향)로 모형화하고 이를 D25×L500의 다웰바와 D16×500의 타이바로 연결하여 편도 2차로의 현장조사 구간을 모사하였다. 슬래브 하부는 150mm 두께의 린 콘크리트 보조기층과 노상으로 모형화하였다. 콘크리트 슬래브와 린 콘크리트 보조기층은 20개의 절점을 가지는 직육면체 요소(20-noded brick element)를 사용하였고, 노상은 8개의 절점을 가지는 평면상의 사각형 요소(8-noded planar quadratic element)를 사용하여 모형화하였다. 슬래브의 줄눈부와 슬래브-보조기층 간의 접촉면은 16개의 절점을 가지며 두께가 없는 접촉면 요소(16-noded interface element)로 구성하였다. 포장체 구성요소의 물성은 Table 3과 같이 포장설계에 사용되는 일반적인 값을 사용하였고, 노상은 Dense Liquid Subgrade 요소를 사용하면서 노상 상단에서의 지지력계수를 변화시키며 프로그램에 직접 입력하였다. 슬래브 우각부에 재하된 HWD 하중의 위치는 Fig. 4에 원으로 표시하였다.

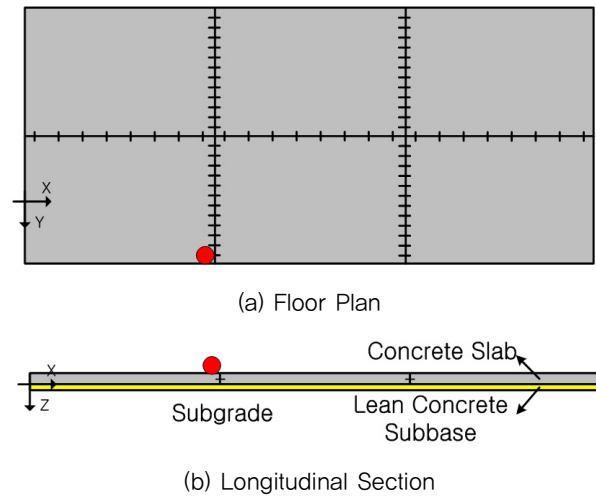


Fig. 4 Finite Element Model of Concrete Pavement

Table 3. Material Properties of Finite Element Model

Model Component	Material Property	Value
Concrete slab	Elastic modulus(GPa)	28
	Poisson's ratio	0.18
	Density(t/m <sup>3</sup> )	2.5
Lean concrete subbase	Elastic modulus(GPa)	15
	Poisson's ratio	0.20
	Density(t/m <sup>3</sup> )	2.3
Dowel & Tie bar	Elastic modulus(GPa)	200
	Poisson's ratio	0.3

현장조사구간에 재하된 49kN, 93kN, 그리고 115kN의 HWD 원형하중을 유한요소 모형에도 재하하고 현장의 처짐과 동일한 처짐이 될때까지 노상 위의 지지력계수를 변화시키는 시행착오 방법을 수행하였다. 이렇게 구한 노상 위의 지지력계수를 AASHTO 86년도 설계지침(AASHTO, 1986)에 보인 Eq. (1)에 대입하여 린 콘크리트 보조기층 위의 합성 지지력계수로 변환하였다. 합성 지지력계수는 린 콘크리트 보조기층의 두께와 탄성계수 그리고 노상의 동탄성계수를 변수로 사용하였으며, 이중 노상의 동탄성계수는 노상 위의 지지력계수가 변수인 Eq. (2)를 사용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \log_e k = & -2.807 + 0.1253 \times (\log_e D_{SB})^2 + 1.062 \times \log_e M_R \\ & + 0.1282 \times \log_e D_{SB} \times \log_e E_{SB} - 0.4114 \times \log_e D_{SB} \\ & - 0.0581 \times \log_e E_{SB} - 0.1317 \times \log_e D_{SB} \times \log_e M_R \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$k$  = 보조기층 위의 합성 지지력계수,  $N/mm^3$

$D_{SB}$  = 린 콘크리트 보조기층의 두께, mm

$E_{SB}$  = 린 콘크리트 보조기층의 탄성계수,  $N/mm^2$

$M_R$  = 노상의 동탄성계수,  $N/mm^2$

$$M_R = 19.4 \times k_{SG} \quad (2)$$

여기서,

$k_{SG}$  = 노상 위의 지지력계수,  $N/mm^3$

기존 공동유무 판단기준인 처짐-하중 관계 추세선의  $x$  절편과 이상의 방법으로 구한 합성 지지력계수의 관계를 Fig. 5에 보였다. 합성 지지력계수가 클수록  $x$  절편이 작아지면서 공동존재 가능성이 적은 것으로 나타났다. 따라서, 공동이 없다고 예측된 지점의 합성 지지력계수  $k$ 는 Fig. 5와 같이  $0.45N/mm^3 \sim 1.88N/mm^3$ 의 범위로 나타났다. 또한, 추가 조사가 필요하다고 판단되는 지점은  $0.36N/mm^3 \sim 0.44N/mm^3$ 의 범위, 그리고 공동이 존재하는 것으로 예측된 지점은  $0.20N/mm^3 \sim 0.33N/mm^3$ 의 범위로 각각 나타났다. 이 결과로 공동이 포장하부의 지지력에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

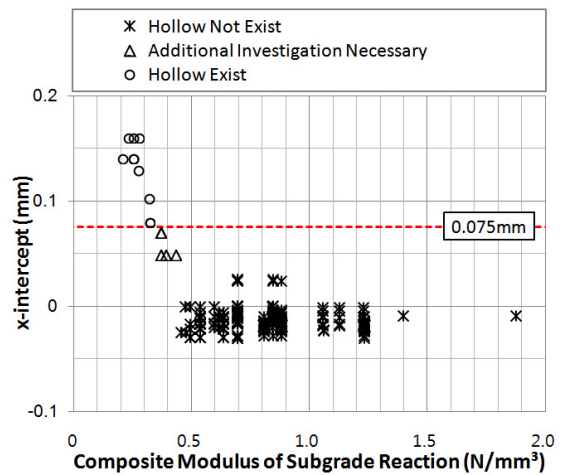


Fig. 5 Relation between x-intercept and Composite Modulus of Subgrade Reaction

보조기층 위의 합성 지지력계수  $k$ 를 Westergaard(1927)가 제시한 Eq. (3)에 대입하여 콘크리트 포장의 상대강성반경  $l$ 을 구하였다.

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k} \right]^{1/4} \quad (3)$$

여기서,

$l$  = 상대강성반경, mm

$E$  = 콘크리트 탄성계수,  $N/mm^2$

$h$  = 슬래브 두께, mm

$\mu$  = 콘크리트 포아송비

B 고속도로 하행선 76.12km 구간의 지중구조물과 횡방향 균열에서 멀리 떨어져 있는 21지점의 합성 지지력계수가 가장 컸던 반면 상대강성반경은 432mm로 가장 작게 계산되었고, A 고속도로 상행선 87.08km 구간의 지중구조물 위에 위치한 51지점의 합성 지지력계수가 가장 작았던 반면 상대강성반경은 748mm로 가장 크게 계산되었다. Fig. 6에서 보듯이 공동이 없다고 예측된 지점의 상대강성반경은 430mm~610mm, 추가조사가 필요한 지점과 공동이 존재하는 것으로 예측된 지점의 상대강성반경은 640mm~750mm의 범위로 분석되어 포장하부의 강성이 작아질수록 지지력이 감소하면서 상대강성반경이 증가하는 것으로 나타났다. 우리나라의 고속도로는 포장층의 두께와 재료가 거의 일정하여 Fig. 6에 보인 상대강성반경의 범위는 포장층의 두께와 재료가 다양한 외국에 비해 제한적일 수 있다고 판단되었다.



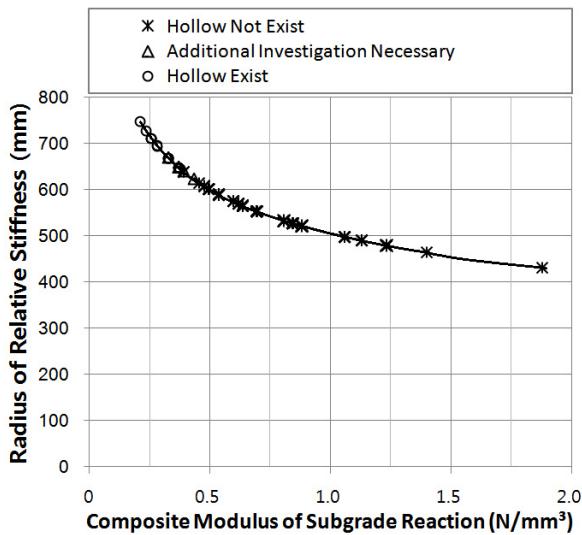


Fig. 6 Relation between Composite Modulus of Subgrade Reaction and Radius of Relative Stiffness

### 5. 포장하부 공동평가 모형의 개발

포장강성을 전혀 고려하지 못하던 기존 포장하부 공동유무 평가방법의 단점을 개선하기 위하여 HWD 하중을 상대강성반경으로 나눈  $P/I$ 와 슬래브 처짐의 관계를 Fig. 7과 같이 분석하였다. 또한, 처짐-하중 관계를 나타내는 점들에 대한 직선의 추세선을 그려서 하중이 0일 때의 처짐으로 공동유무를 판단하던 기존 방법의 비논리적 단점을 보완하기 위해 하중이 0일 때 처짐이 0인 영점을 추가하고 직선이 아닌 2차 곡선의 추세선으로 경향을 표현하였다.

분석 결과 공동이 존재한다고 예측된 지점의  $P/I$ 의 증가에 따른 처짐의 증가는 공동이 없다고 예측된 지점보다 크게 나타났다. 공동이 존재하는 지점의 경우, 초기에 크게 증가하던 처짐이 하중이 커짐에 따라 점차 감소하여 육안으로 쉽게 파악할 수 있을 만큼 위로 볼록한 2차 곡선의 추세를 보였다. 공동이 없는 지점의 경우는 하중에 따라 처짐이 거의 일정하게 증가하여 직선에 가까운 2차 곡선의 형태를 나타냈다. 전체 현장조사 자료를 Fig. 7과 같이 지점별로 2차 곡선으로 나타내고 기존 방법에 의해 공동이 존재한다고 예측된 지점은 점선, 추가조사가 필요한 지점은 파선, 공동이 없는 것으로 예측된 지점은 실선으로 그 범위를 구분하였다.

Fig. 7에 보인 것과 같이 하중과 상대강성반경의 비를  $x$ 로 하고 처짐을  $y$ 로 하여  $y = A(x-B)^2 + C$ 의 2차 곡

선의 형태로 포장하부 공동유무 평가모형을 개발하였다. 모형의 계수  $A$ 는 2차 곡선의 폭을 나타내는 것으로서 절대값이 클수록 곡선이 더 볼록해지면서 폭이 감소한다. 또한, 계수  $B$ 는 최대 처짐이 발생될 때의 하중-상대강성의 비를 의미한다. 곡선이 그래프의 영점을 통과한다고 가정할 때, 계수  $A$ 가 클수록 2차 곡선은 볼록해지면서 폭이 감소하므로 최대 처짐 발생 시의 하중-상대강성의 비인 계수  $B$ 가 작아져서 Fig. 7의 공동이 존재하는 지점의 추세선과 같은 형태가 된다. 이와 반대로 계수  $A$ 가 작을수록 2차 곡선은 직선에 가까워지면서 폭이 넓어지고 이에 따라 계수  $B$ 가 커지므로 Fig. 7의 공동 없는 지점의 추세선과 같은 형태를 보이게 된다.

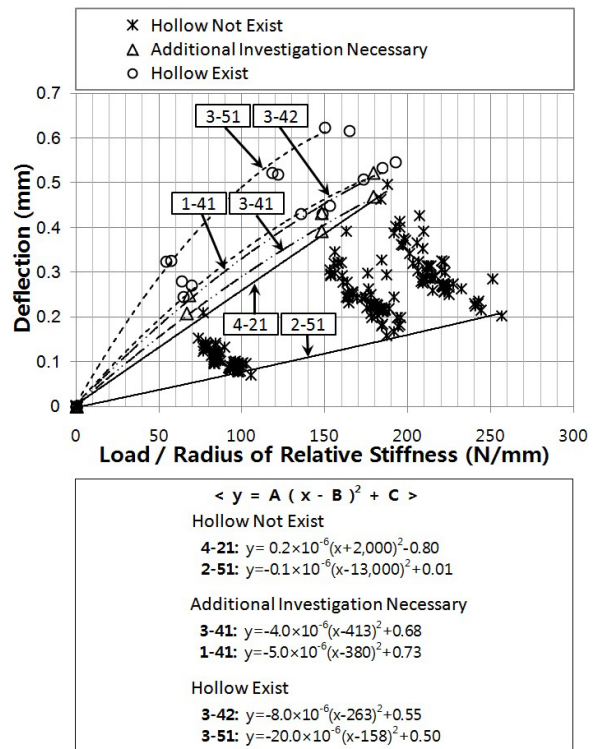
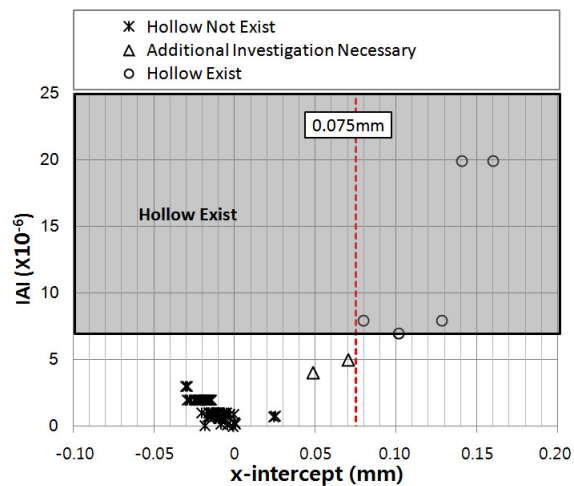


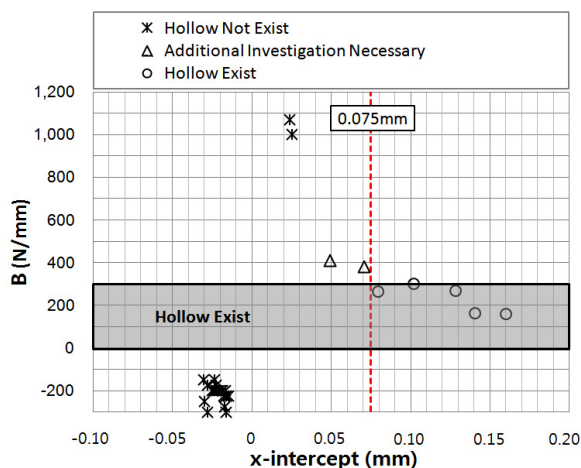
Fig. 7 Evaluation Results by Improved Method

분석 결과 공동이 존재하는 것으로 예측된 지점의 계수  $A$ 의 절대값은 Fig. 8 (a)와 같이  $7.0(\times 10^{-6})$  이상이었으며, 지지력계수  $k$ 가 감소할수록 점차 증가하여 평균  $13.0(\times 10^{-6})$ 의 크기를 보였고, 추가 조사가 필요한 지점은  $4.0(\times 10^{-6})$ 과  $7.0(\times 10^{-6})$  사이에서 평균  $4.5(\times 10^{-6})$ 를 나타냈다. 또한, 공동이 없는 것으로 예측된 지점에서는  $4.0(\times 10^{-6})$  미만에서 평균  $1.3(\times 10^{-6})$ 의 작은 값을 나타냈다. 공동이 존재하는 것으로 예측된 지점의 계수  $B$ 는 Fig. 8 (b)와 같이  $158\text{N/mm}$ 와  $300\text{N/mm}$ 의 범위로 나타났고, 추가 조사가 필요한 지

점에서는 380N/mm와 413N/mm의 범위 그리고 공동이 없는 것으로 예측된 지점에서는 계수 A가 양의 값일 때는 0보다 작게, 계수 A가 음의 값일 때 1,000N/mm 이상으로 각각 나타났다. 이상의 결과를 통하여 본 연구에서 개발된 방법이 기존의 방법을 적절히 보완할 수 있을 것으로 판단되었다. 향후 재료와 구조가 다른 콘크리트 포장 구간의 자료를 사용한 검증이 필요할 것이다.



(a) Absolute Value of Coefficient A



(b) Coefficient B

Fig. 8 Range of Coefficients for Hollow Existence

## 6. 결론

기존의 콘크리트 포장하부 공동유무 평가방법은 포장의 강성을 전혀 고려하지 못할 뿐만 아니라 하중이 0일 때의 처짐으로 공동유무를 판단한다는 비합리적인 논리를 사용해 왔다. 본 연구에서는 지중구조물이 위치한 국내 2개 고속도로의 5개 구간에서 HWD 하중에 따른 슬

래브 우각부의 처짐을 측정하고 AASHTO와 ASTM에서 제시한 기존의 방법을 보완하는 새로운 포장하부 공동유무 평가방법을 개발하였다. HWD 하중에 의한 실제 슬래브 처짐과 동일한 크기의 처짐이 유한요소 해석에서도 발생하도록 유한요소 모형의 노상 지지력계수를 시행착오 방법으로 구한 후 이를 보조기층 위에서의 합성 지지력계수로 보정하였다. 합성 지지력계수를 포함한 포장의 물성과 구조를 사용하여 상대강성반경을 구하고 하중-상대강성반경의 비  $P/I$ 에 대한 슬래브 처짐의 관계를 2차 곡선으로 나타냈다. 분석 결과 공동의 의심되는 구간에서는  $P/I$ 의 증가에 따라 초기에 처짐이 크게 증가하다가 점차 증가율이 둔화되는 경향을 보인 반면 공동이 없다고 예측된 구간에서는 하중 크기에 상관없이 처짐이 일정하게 증가하는 경향을 나타냈다. 2차 곡선의 폭을 나타내는 계수 A의 절댓값은 공동 의심 구간의 경우  $7.0(\times 10^{-6})$  이상, 추가 조사 필요 구간에서는  $4.0(\times 10^{-6})$  이상  $7.0(\times 10^{-6})$  미만, 그리고 공동이 없는 구간에서는  $4.0(\times 10^{-6})$  미만으로 분석되어 공동이 의심되는 구간의 2차 곡선의 폭이 좁은 것으로 분석되었다. 최대 처짐이 발생할 때의  $P/I$ 을 나타내는 2차 곡선의 계수 B는 공동 의심 구간에서는 0~300N/mm, 추가 조사 필요 구간에서는 300N/mm~1,000N/mm, 그리고 공동이 없는 구간에서는 0 미만 또는 1,000N/mm 이상으로 분석되어 공동이 의심되는 구간의 최대 처짐을 발생시키는  $P/I$ 이 작은 것으로 나타났다. 포장하부의 상태가 나쁠수록 작은 하중에도 처짐이 크게 발생하여 그 래프 영점에서의 2차 곡선의 기울기가 크게 나타났으며, 하중이 증가함에 따라 처짐의 증가율이 작아지면서 포장하부의 상태가 좋은 경우보다 최대 처짐에 일찍 도달하는 것으로 판단되었다. 앞으로 포장 재료와 구조가 다른 구간의 자료를 추가로 분석하여 본 연구에서 개발된 방법을 검증할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 지중구조물 상부 콘크리트 포장 보강설계 및 유지관리 기술개발 2차년도 연구비 지원에 의해 수행되어 이에 감사드립니다.

## References

- AASHTO, 1986, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO, Washington DC.
- AASHTO, 1993, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO, Washington DC.
- Tayabji, S.D. and Lukanen, E.O., 2000, *Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume, ASTM STP 1375*, pp. 231-294.

- Westergaard, H.M, 1927, Theory of Concrete Pavement Design, *Proceedings of Highway Research Board*, Part 1, pp. 175-181.
- Park, J.Y., Sohn, D.S., Lee, J.H., and Jeong, J.H., 2012, A study on Joint Position at Concrete Pavement with Box Culverts, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, pp. 45-53.
- (박주영, 손덕수, 이재훈, 정진훈 (2012). "박스 암거가 통과하는 콘크리트 포장의 줄눈 위치에 관한 연구", 한국 도로학회 논문집, 한국도로학회, 제 14권, 제 2호, pp. 45-53.)
- Woo, J.W., 2001, *Void Detection under Jointed Concrete Pavement using FWD*, Master Thesis, Hanyang University, Korea.
- (우정원 (2001). FWD를 이용한 줄눈콘크리트 포장하부의 공동 추정, 석사학위논문, 한양대학교.)
- Yoo, T.S., Han, S.H., Yeom, S.G., 2004, *Development of Structural Evaluation Guidelines for Portland Cement Concrete Pavement*, Research Report, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation, Korea.
- (유태석, 한승환, 염상국 (2004). 콘크리트 포장의 구조적 평가를 위한 기준 연구, 2004년도 연구보고서, 한국도로공사 도로교통기술원.)
- KEC, 2009, *Expressway Construction Standard*, Korea Expressway Corporation, Korea.
- (한국도로공사 (2009). 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사)
- Han, S.H., Kwon, S.M., and Um, I.S., 2000, *Enhanced Performance of Reinforced Concrete Pavement Slabs Adjacent to the Backfill of Box Culverts*, Research Report, Highway Research Institute, Korea Highway Corporation, Korea.
- (한승환, 권순민, 엄인섭 (2000). 박스암거상부 콘크리트 포장체의 보강방안 개선 연구. 2000년도 연구보고서. 한국도로공사 도로연구소.)
- (접수일 : 2012. 12. 26 / 심사일 : 2013. 1. 3 / 심사완료일 : 2013. 1. 29)