

## 신형식 강합성 교량의 연석고정하중 분배계수

이규세<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 토목공학과

### Distribution Factors of Curb Dead Load for New Composite Bridges

Yi, Gyu Sei<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, SunMoon University

**요 약** 본 논문에서는 신형식 강합성 교량에 대한 3차원 유한요소해석을 ABAQUS를 이용하여 실시하여, 연석 사하중 재하에 따른 하중분배값을 검토하였다. 하중분배계수 검토에 고려된 변수로는 콘크리트 슬래브 두께, 강판 두께, 주형길이가 적용되었다. 해석을 통해 얻어진 하중 분배율은 AASHTO Standard와 AASHTO LRFD 설계기준의 제안식 및 기존 연구자들이 제안한 식들과 비교·검토되었다. 본 논문에서는 신형식 강합성 교량의 설계 간편성을 고려하여 외측주형의 경우 0.67, 내측주형의 경우 0.34의 하중분배율을 제안하였다.

**Abstract** The load distribution factor (LDF) values of new composite I-beam panel bridges that were subjected to dead load were investigated using three-dimensional finite element analyses with the computer program ABAQUS(2007). This study considered some design parameters such as the slab thickness, the steel-plate thickness, and the span length for design of new composite bridges. The distribution values that were obtained from these analyses were compared with those from the AASHTO Standard, AASHTO LRFD, and the equations presented by Tarhini and Frederick, and Back and Shin. For the simple application of the design, bridge engineers can use the LDF of 0.67 for the exterior girder and of 0.340 for the interior girder.

**Key Words** : Load distribution factor, Bridge design, Composite bridge

### 1. 서론

I형 강합성 교량의 상부구조는 주형, 가로보 및 콘크리트 슬래브로 구성되는 것이 일반적이다. 이러한 강합성 교량의 주형설계에 있어서 직접적으로 하중이 재하 되지 않고 콘크리트 바닥판에 하중이 재하되므로 주형에 하중이 분배되는 정도를 나타내는 하중분배계수(Load Distribution Factor; LDF)을 사용하여 강합성 교량시스템을 설계하는 것이 현재 세계적으로 널리 사용되고 있는 설계법이다. 하중분배계수는 콘크리트 바닥판의 형태나 재료, 거더의 형상, 교량의 형식에 따라 달라질 수 있다. 이러한 교량 형식에 따른 하중분배계수를 구하는 방법으로 미국의 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) Standard 설계기준

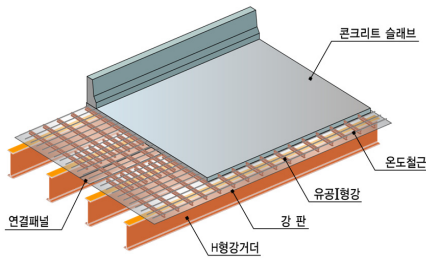
(2002)과 AASHTO LRFD(Load and Resistance Factor Design) 교량설계기준(2007)등이 있으며, 여러 연구자들에 의해 다양한 하중분배계수가 제안되었다. (Khaleel and Itani 1990; Ebeido and Kennedy 1996; Zokaie 2000, Zokaie 등, 1991; Zokaie, 2000; 백성용과 신기수, 2007). 박종섭과 김재홍(2009)은 그림 1과 같이 가로보 최소적용과 강판을 바닥판에 적용한 신형식 초간편 H형강 교량의 활하중 분배계수를 제안하고자 기존의 하중분배계수를 검토하여 새로운 설계값을 제안한 바 있다.

\*교신저자 : 이규세(gyusyi@sunmoon.ac.kr)

접수일 10년 04월 27일

수정일 10년 05월 30일

게재확정일 10년 07월 06일

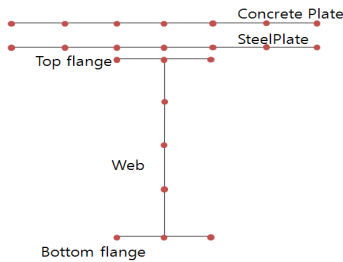


[그림 1] 신형식 강합성 교량 형식

본 연구에서는 그림 1의 신형식 강합성 교량의 콘크리트 슬래브 끝단에 설치되는 연석 고정하중에 의한 주형 하중분배계수를 간편하게 적용할 수 있는 설계값을 제안하고자 한다. 연석 고정하중에 의한 하중분배 영향인자로 슬래브 두께, 강판 두께, 경간장이 고려되었으며, 유한요소해석을 통해 분석되었다.

## 2. 유한요소해석 모델링 및 해석변수

범용구조해석 프로그램 ABAQUS[6]가 유한요소해석에 사용되었으며, 해석대상교량의 모델링은 박종섭과 김재홍[1]의 해석기법을 적용하였다.



[그림 2] 유한요소해석 모델

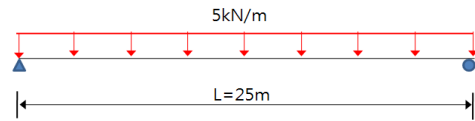
### 2.1 해석모델링 및 분배율 계산식

신형식 강합성 교량의 주요 구성요소인 콘크리트 슬래브, 강판, H형강 모두 그림 2와 같이 4절점 쉘요소(shell element)가 적용되었다. 모델의 각 부재간의 합성 거동을 할 수 있도록 콘크리트 바닥판, 강판, H형강을 ABAQUS Tie Option을 사용하여 일체거동을 할 수 있도록 하였으며, 윤동용과 은성운[3]이 제안하고 있는 응력비로 하중분배계수를 산정하였다. 식(1)은 단위주형 해석모델에 발생하는 최대 휨응력과 다주형 신형식 교량에 발생하는 최대 휨응력을 비교하여 하중분배값을 산정하고 있다.

$$LDF = \frac{f_{max}^{multi-beam\ bridge}}{f_{max}^{a\ single\ beam\ bridge}} \quad (1)$$

### 2.2 고정하중 산정 및 재하 위치

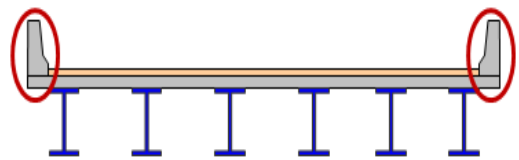
본 연구에서 고려된 연석 고정하중은 그림 3과 같이 5kN/m의 등분포하중으로 재하되었다. 하중재하 위치는 교량 단면의 최외측 연석의 단면중앙 지점이며, 시공 중 한쪽에만 연석이 놓이는 편측재하상태와 양측면 연석이 놓이는 양측재하로 구분하여 검토하였다.



[그림 3] 연석고정하중

### 2.3 해석 변수

그림 4와 같이 단면 끝단에 놓이는 연석하중의 하중분배값을 제안하기 위해서 콘크리트 슬래브 두께(15, 20, 30cm), 강판두께(1, 5, 6, 10, 20mm), 및 경간길이(15, 20, 25, 30, 35m)를 해석변수로 적용하여 하중분배효과를 분석·검토하였다. 주형 2개와 강판으로 구성된 표준패널은 공장에서 제작되며, 그림 4의 단면은 3개의 표준패널과 2개의 연결패널이 적용된 예로서 주형간격은 1.5m로 일정하다.



[그림 4] 신형식 강합성 교량 단면도

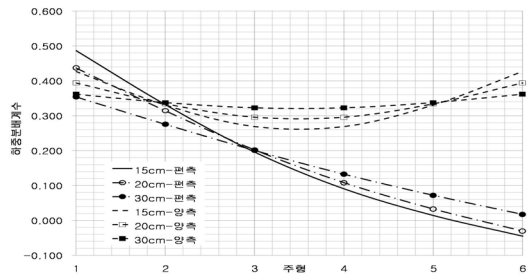
## 3. 유한요소해석결과

### 3.1 콘크리트 슬래브 두께별 하중분배

콘크리트 슬래브 두께를 15cm, 20cm, 25cm로 변화시켜가며 유한요소해석을 실시하였으며, 강판의 두께는 6mm, 경간길이는 25m로 모두 같이 적용하였다. 그림 5는 콘크리트 슬래브 두께 변화에 따른 하중분배값을 타 연구자들의 제안값과 비교하고 있으며, 그림 6은 주형별 하중분배값을 나타내고 있다. 그림 5와 그림6의 외측주

형 하중분배값 결과를 살펴보면 연석하중 편측재하시 양측재하보다 큰 값을 보이는 것을 알 수 있다. 또한, AASHTO Standard[4], Tarhini와 Frederick[9]의 기준식보다 작은 하중분배값을 나타내고 있다. 그러나 AASHTO LRFD 교량설계기준[5]보다는 편측재하시 슬래브 두께가 15cm인 경우 28.3%, 슬래브 두께 20cm의 경우 15% 크게 나타났다. 양측재하의 경우 AASHTO LRFD 교량설계기준[5]에 비해 각 슬래브 두께에서 19.8%, 18%, 18.3% 크게 나타났다. 백성용과 신기수[2]의 연구와 비교하면 편측재하시 내측주형의 하중분배값은 슬래브 두께가 20cm일 때 2.4%, 30cm일 때 25.9% 크게 나타났다.

그림 5와 6에 나타난 바와 같이 콘크리트 슬래브의 두께가 증가함에 따라 하중분배값은 작아지는 경향을 보이고 있으며, AASHTO LRFD 교량설계기준(2007)과 백성용&신기수(2007) 제안식 적용이 적절하지 않음을 확인할 수 있었다. 표 1은 기존 제안식들과 본 해석연구를 통해 얻어진 결과를 비교하고 있으며, 간편설계를 위한 해석변수별 최적 설계적용값을 제안하고 있다.



[그림 6] 주형별 하중분배(편측 및 양측재하)

[표 1] 슬래브 두께별 변하중분배율

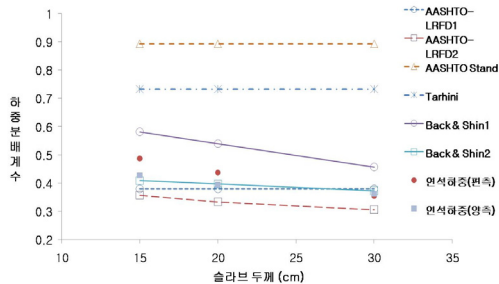
슬래브 두께(cm)	내측주형			외측주형			
	15	20	30	15	20	30	
AASHTO Standard	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	
Tarhini & Frederick	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733	
Back & Shin	1차선	0.581	0.540	0.457	0.351	0.307	0.219
	2차선	0.409	0.397	0.372	0.408	0.357	0.255
AASHTO LRFD	1차선	0.380	0.380	0.380	0.346	0.324	0.297
	2차선	0.357	0.334	0.306	0.463	0.434	0.397
유한요소 해석	편측	0.487	0.438	0.354	0.332	0.315	0.276
	양측	0.428	0.394	0.362	0.331	0.334	0.338
<b>제안값</b>	<b>0.490</b>	<b>0.440</b>	<b>0.370</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	

### 3.2 강판 두께별 하중분배

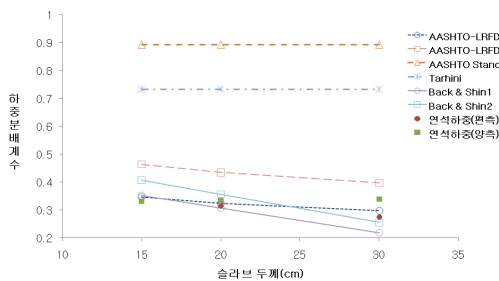
강판의 두께를 1mm, 5mm, 6mm, 10mm, 20mm로 변화시켜가며 하중분배값을 산정하였다. 콘크리트 슬래브 두께는 15cm, 경간길이는 25m로 고정하였다. 그림 7과 그림 8은 강판 두께별 하중분배율과 주형별 하중분배율을 나타내고 있다. 그림 7(a)의 외측주형 결과를 살펴보면 AASHTO Standard[4]와 Tarhini[9], Back & Shin[2]의 제안값보다 해석결과가 작게 나타났으며, 그 외 다른 비교값보다는 큰 값을 나타내고 있다. AASHTO LRFD 교량설계기준의 1차선 하중재하와 편측하중재하 해석결과를 비교해 보면, 강판 두께가 1mm, 5mm, 6mm, 10mm, 20mm로 변화됨에 따라 37.9%, 29.7%, 28.3%, 24.6%, 19.7%정도 크게 나타났다. 백성용과 신기수[2]의 2차선 하중재하 제안값과 비교하면 강판 두께별 13%, 5.7%, 4.6%, 2% 하중분배율이 크게 나타났다.

외측주형의 경우 강판의 두께가 1mm에서 20mm로 변화함에 따라 편측재하의 경우 하중분배율이 13.2% 감소하는 경향을 보였으며, 양측재하의 경우 하중분배율이 13% 감소하는 경향을 보였다.

그림 7(b)의 내측주형의 경우 해석결과가 다른 연구자들의 제안값보다 작게 나타나고 있다. AASHTO Standard[4]와 Tarhini & Frederick[9]는 매우 안전측의 설



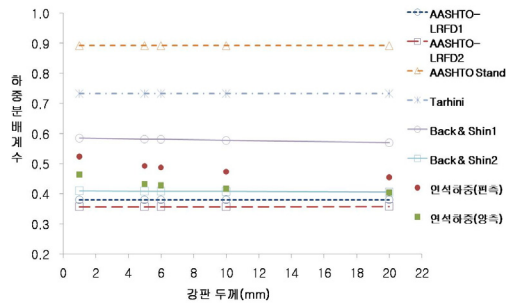
(a) 외측주형



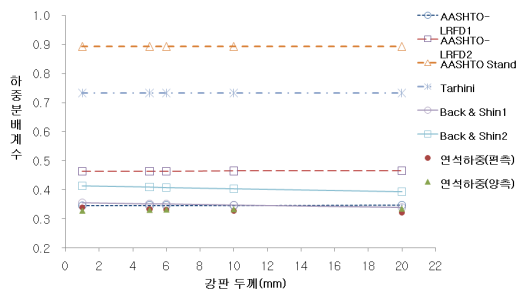
(b) 내측주형

[그림 5] 콘크리트 슬래브 두께별 하중분배

계를 유도하고 있으며, AASHTO LRFD 교량설계기준[5]과 백성용과 신기수[2] 제안식은 본 해석결과와 비교하여 안전하지 못한 결과를 나타내고 있다. 그러므로 본 연구 대상교량의 연석하중에 대해서 설계에 적용할 하중분배율을 표 3과 표 4에 강판두께별 제안하였다. 외측주형은 강판 두께가 증가함에 따라 분배율이 작아지는 값으로 제안하고 있으며, 내측주형의 경우 두께변화와 상관없이 0.340의 하중분배율을 제안하고 있다.

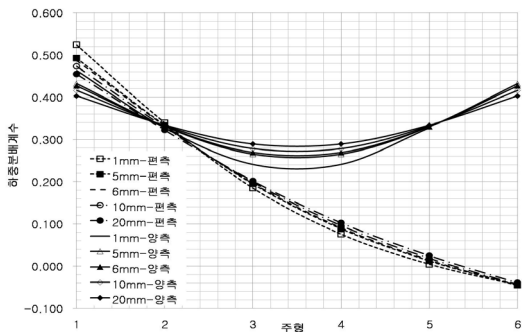


(a) 외측주형



(b) 내측주형

[그림 7] 강판두께별 하중분배값



[그림 8] 주형별 하중분배값(편측 및 양측재하)

[표 2] 강판두께별 외측주형 분배율

강판두께(mm)	1	5	6	10	20	
AASHTO Standard	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	
Tarhini & Frederick	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733	
Back & Shin	1차선	0.585	0.582	0.581	0.578	0.570
	2차선	0.410	0.409	0.409	0.408	0.405
AASHTO LRFD	1차선	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
	2차선	0.357	0.357	0.357	0.357	0.358
유한요소 해석	편측	0.524	0.493	0.487	0.474	0.455
	양측	0.464	0.432	0.428	0.416	0.403
<b>제안값</b>	<b>0.530</b>	<b>0.500</b>	<b>0.490</b>	<b>0.480</b>	<b>0.460</b>	

[표 3] 강판두께별 내측주형 분배율

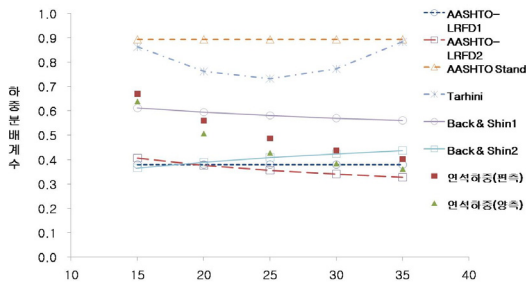
강판두께(mm)	1	5	6	10	20	
AASHTO Standard	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	
Tarhini & Frederick	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733	
Back & Shin	1차선	0.585	0.582	0.581	0.578	0.570
	2차선	0.410	0.409	0.409	0.408	0.405
AASHTO LRFD	1차선	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
	2차선	0.357	0.357	0.357	0.357	0.358
유한요소 해석	편측	0.339	0.333	0.332	0.328	0.322
	양측	0.327	0.330	0.331	0.332	0.334
<b>제안값</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	

### 3.3 경간별 하중분배

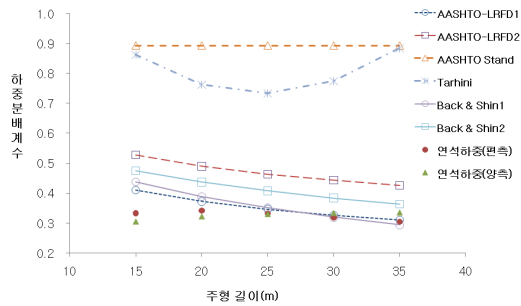
교량의 경간길이 변화에 따른 하중분배의 영향을 고려하였다. 경간 길이는 15m, 20m, 25m, 30m, 35m로 변화시켰으며 콘크리트 슬래브 두께는 15cm, 강판의 두께는 6mm으로 고정하여 비교하였다.

그림 9(a)의 외측주형결과를 살펴보면 경간 길이가 15m에서 35m로 증가함에 따라 편측재하 하중분배율은 40% 감소하고 있으며, 양측재하 하중분배율은 43.5%로 감소하는 것을 알 수 있다. 편측재하시 외측주형의 하중분배율은 AASHTO LRFD 교량설계기준[5] 1차선재하시 분배율보다 각 검토지간별 43.3%, 32.1%, 22%, 13%, 5.4% 크게 나타났다. 그림 9(b)의 내측주형의 경우를 보면 편측재하시 경간길이가 35m일 때 백성용과 신기수[2]가 제안한 1차선 하중재하시 제안값보다 3.7% 크게 나타났으나, 다른 검토 경간 모델의 경우 해석결과가 기존 제안식보다 작게 나타났다.

표 4와 표 5는 경간별 외측주형과 내측주형의 하중분배율을 기존 제안식과 비교하고 있으며 해석결과를 토대로 안전측의 간편 하중분배율을 제안하고 있다.

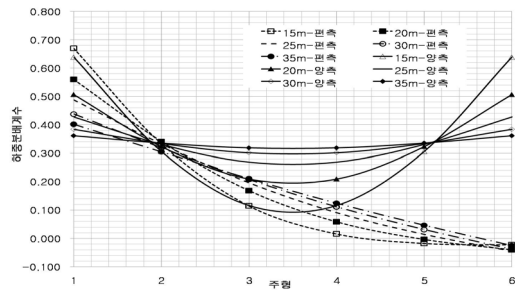


(a) 외측주형



(b) 내측주형

[그림 9] 경간별 하중분배



[그림 10] 주형별 하중분배값(편측 및 양측재하)

[표 4] 경간별 외측주형 하중분배율

길이(m)	15	20	25	30	35	
AASHTO Standard	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	
Tarhini & Frederick	0.862	0.763	0.733	0.773	0.884	
Back & Shin	1차선	0.612	0.595	0.581	0.570	0.561
	2차선	0.365	0.390	0.409	0.424	0.437
AASHTO LRFD	1차선	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
	2차선	0.407	0.377	0.357	0.341	0.328
유한요소 해석	편측	0.669	0.559	0.487	0.437	0.401
	양측	0.638	0.507	0.427	0.384	0.361
<b>제안값</b>	<b>0.670</b>	<b>0.560</b>	<b>0.490</b>	<b>0.440</b>	<b>0.410</b>	

[표 5] 경간별 내측주형 하중분배율

길이(m)	15	20	25	30	35	
AASHTO Standard	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	
Tarhini & Frederick	0.862	0.763	0.733	0.773	0.884	
Back & Shin	1차선	0.612	0.595	0.581	0.570	0.561
	2차선	0.365	0.390	0.409	0.424	0.437
AASHTO LRFD	1차선	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
	2차선	0.407	0.377	0.357	0.341	0.328
유한요소 해석	편측	0.333	0.340	0.332	0.319	0.305
	양측	0.306	0.323	0.331	0.334	0.336
<b>제안값</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	<b>0.340</b>	

#### 4. 결론

본 연구에서는 신형식 강합성 교량의 콘크리트 슬래브 끝단에 설치되는 연석 고정하중에 의한 주형 하중분배 간편 설계값을 제안하였다. 연석 고정하중에 의한 하중분배 영향인자로 슬래브 두께, 강판 두께, 경간장이 고려되었으며, 유한요소해석을 통해 비교분석되었다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 슬래브 두께별, 강판 두께별, 경간 별 해석결과는 기존 제안값들보다 상대적으로 큰 값을 보이고 있다. 따라서 기존 제안식 사용 시 안전하지 못한 설계를 유도할 수 있으므로 본 연구대상 교량의 연석고정하중에 적합한 하중분배율이 필요함을 알 수 있었다. 따라서 각 해석변수별 적정 하중분배율을 안전측으로 제안하였다.
- (2) 연석고정하중의 재하위치 특성상 외측주형에 큰 하중분배율이 산정되었다. 특히 시공중 편측하중 재하시 상대적으로 큰 하중분배율을 나타내고 있으며, 내측주형의 경우 기존 제안식과 유사한 값을 나타내고 있다.
- (3) 본 연구에서 검토한 콘크리트 슬래브 두께변화(15cm~30cm), 강판 두께 변화(1mm~20mm), 경간 길이변화(15m~35m)를 가지고 있는 신형식 강합성 교량의 경우 안전측으로 외측주형의 경우 0.67, 내측주형의 경우 0.340의 하중분배율을 적용한다면 안전하고 경제적인 간편 설계를 적용할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 박종섭, 김재홍, 강합성 초간편 H형강 교량의 하중분배 계수에 관한 해석적 연구, 한국산학기술학회논문집, 제

- 9권, 제6호, pp.1711~1717, 2009.
- [2] 백성용, 신기수, 2경간 연속 I-형교의 하중분배계수, 한국강구조학회논문집, 제19권, 제2호, pp.233~245, 2007.
- [3] 윤동용, 은성운, 압연형강(H형강) 거더교의 가로보가 활하중 횡분배에 미치는 영향, 한국강구조학회논문집, 제18권, 제5호, pp.535~541, 2006.
- [4] AASHTO, *Standard Specifications for Highway Bridges*, 16th Ed., Washington, D.C., 2002.
- [5] AASHTO, *LRFD Bridge Design Specifications*, 3rd Ed., Washington, D.C., 2007.
- [6] ABAQUS, *Standard User's Manual(ver6.7-2)*, ABAQUS Inc, 2007.
- [8] Ebeido, T., and Kennedy, J.B. Girder moments in continuous skew composite bridges, *J. Bridge Eng.*, 1(1), pp.37~45, 1996.
- [9] Khaleel, M. A., and Itani, R. Y., Live-load moments for continuous skew bridges, *J. Struct. Eng.*, 116(9), pp.2361~2373, 1990.
- [9] Tarhini, K.M., and Frederick, G.R. Wheel load distribution in I-girder highway bridges, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp. 1285~1249, 1992.
- [10] Zokaie, T., Osterkamp, T.A., and Imbsen, R.A., *Distribution of wheel loads on highway bridges*, Report No. NCHRP 12-26/1, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1991.
- [11] Zokaie, T., AASHTO-LRFD live load distribution specifications, *J. Bridge Eng.*, 5(2), pp.131~138, 2000.

이 규 세(Gyu-Sei Yi)

[정회원]



- 1979년 9월 : 고려대학교 토목공학(공학사)
- 1983년 8월 : 고려대학교 토목공학(공학석사)
- 1996년 12월 : Utah State Univ. 토목공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

구조공학, 콘크리트 구조, 구조해석