

PSSC 합성거더 교량의 비선형 거동 분석 및 신뢰도 해석

Analysis of Nonlinear Behavior and Reliability of PSSC Composite Girder Bridge

황 철 성*

Hwang, Chul-Sung

백 인 열**

Paik, In-Yeol

Abstract

Member force, strain and stress distribution of a section are obtained for prestressed steel and concrete(PSSC) composite bridge subjected to dead and live load in order to interpret the effect of prestressing and deformation of tendon. The stress and strain distribution and moment capacity are obtained for both noncomposite and composite section and for allowable stress limit state, yield limit state and strength limit state. Reliability analysis is conducted after assuming limit states for deflection, stress and flexural strength. Comparing that the reliability index for stress is near 0 for example section which is designed to satisfy the allowable stress exactly, the reliability indexes for deflection and flexural strength are high. Reliability of PSSC girder which is designed based on allowable stress of bridge design code is high for deflection and flexural strength.

요 지

프리스트레스하중이 작용되는 강합성교인 PSSC 교량에서 프리스트레스의 효과와 단면의 변형에 따른 텐드의 변형의 영향을 밝히기 위해 사하중 및 활하중이 작용될 때 합성전·후에 발생하는 부재내의 변형도 및 응력 변화와 허용응력 한계상태, 항복응력 한계상태 및 강도한계상태의 단면력과 부재내의 변형도 및 응력변화를 구한다. 또한 거더의 처짐 및 응력과 휨강도를 변수로 하는 한계상태들을 가정하고 이에 대한 신뢰도 분석을 수행한다. 허용응력에 맞추어 설계한 예제 단면의 응력에 대한 신뢰도 지수가 0 부근임에 비하여, 처짐 및 휨강도에 대한 신뢰도 지수는 높은 값을 주고 있어서 도로교설계기준의 허용응력에 대하여 설계한 PSSC 거더는 처짐 및 휨강도에 대하여 높은 신뢰도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Keywords : Composite behavior, Limit state function, Reliability index, PSSC girder, Prestressing

핵심 용어 : 합성거동, 한계상태함수, 신뢰도지수, PSSC 거더, 프리스트레스

* 정희원, 경원대학교 토목환경공학과 교수
** 정희원, 경원대학교 토목환경공학과 부교수

E-mail : cshwang@kyungwon.ac.kr 031-750-5336

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

합성구조는 교량의 건설과정에서의 편의성과 재료의 특성을 효율적으로 사용할 수 있다는 장점으로 인해 최근 사용빈도가 증가하고 있는 추세이다. 특히 강재와 콘크리트의 합성구조는 두 재료의 상이함에도 불구하고 상호보완적 특성으로 인하여 많은 장점을 지니고 있다. 이 때문에 Steel 거더교, Steel Box교 등이 자주 사용되며 형고가 낮은 Preflex 교량 또한 널리 사용되고 있다.

최근 개발된 PSSC(Prestressed Steel and Concrete) 거더 교량은 이러한 교량형식들의 장점을 살리면서, 공장 생산되는 기성 구조용 압연 형강을 사용하고 강선에 의해 프리스트레스를 가함으로써 보다 효율적이고 경제적인 개념을 살린 구조 형식이다.

PSSC 거더는 이른바 강교와 PSC 빔의 장점을 고려하고 단점을 보강한 공법으로 공장 생산되는 2개의 상용 구조용 압연 형강의 상하단에 이음판을 이용하여 고장력볼트로 조합함으로써 강제 박스형 거더를 제작하고 내부에 긴장재를 배치하여 강선정착부에 콘크리트를 충전한 후 프리스트레스를 가해서 제작하며, 상부슬래브와는 전단연결재로 합성하는 교량형식이다.

PSSC 거더 교량은 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

- ① 상용 구조용 형강을 사용하므로 자재수급이 원활하고 재료 품질의 신뢰성이 보장된다.
- ② 교량의 판형작업에서 용접과정이 생략되므로 재질이 변성되지 않으므로 구조물의 품질이 보장된다.
- ③ 대부분의 공정이 공장가공에 의해 이루어지며, 현장에서는 볼트이음만으로 제작되므로 운반과 제작이 용이하며, 교량의 거치가 신속하고 안전하다.
- ④ 2차인장을 통한 강재의 탄성거동과 케이블의 긴장량을 조절함으로써 단면의 최적화를 통해 교량의 형고를 최소화 할 수 있으며, 교량의 연속화가 가능하다.
- ⑤ 외부에 강재가 있으므로 거푸집이 따로 필요 없이 쉽게 콘크리트를 타설할 수 있다.

또한, 내부충진 콘크리트는 지점부의 지점부 보강

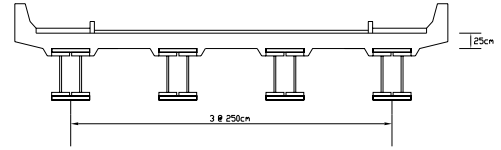


Fig. 1 PSSC 거더 교량의 단면도

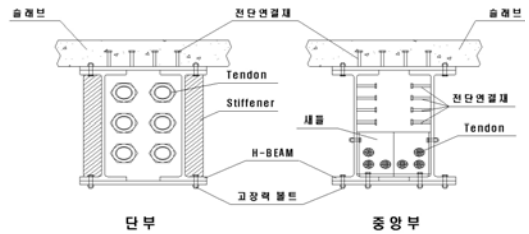


Fig. 2 PSSC 거더의 세부 단면도

및 전단보강, 강선정착부의 보강 및 하중집중부의 응력분산의 효과를 나타낸다.

Fig. 1과 Fig. 2는 PSSC(Prestressed Steel and Concrete) 거더 교량의 단면도이다.

PSSC 거더 교량은 다단계 긴장력 최적 설계에 관해 연구⁽¹⁾하였고, 아주대학교 토목기술 연구센터에서 압연형강과 긴장재를 이용한 강교량 기술개발에 관한 설계기술개발을 연구⁽²⁾하였으며, 경원대학교 산학협력단 PSSC 합성거더 연속화 실용화 연구⁽³⁾를 통해 PSSC 교량의 표준화와 연속화를 수행하였다. 또한 PSSC 거더의 처짐, 휨응력 및 휨강도에 관한 한계상태를 가정하여 신뢰도를 분석하고, 다양한 지간에 대하여 허용응력에 맞추어 설계한 단면들의 신뢰도를 구하여 한계상태별로 값을 비교하였으며, 허용응력에 대한 여유 정도가 각기 다른 단면들에 대한 신뢰도의 연구⁽⁴⁾가 수행되었다.

본 연구의 목적은 프리스트레스하중이 작용되는 강합성교인 PSSC 교량에서 사하중 및 활하중이 작용될 때 합성전·후에 발생하는 부재내의 변형도 및 응력변화와 허용응력 한계상태, 항복응력 한계상태 및 강도 한계상태의 단면력과 부재내의 변형도 및 응력변화를 구하고 이로부터 사용성 및 강도한계상태에 대한 신뢰도지수를 구함으로써 향후 PSSC 교량의 한계상태설계에 관한 단면 최적화에 필요한 기초 자료로 활용하는 것이다.

2. PSSC 거더 교량 해석

2.1 교량 표준단면의 설정

PSSC 거더는 슬래브, H-beam으로 이루어진 강재 박스거더 및 내부 충전 콘크리트로 구성되어 있으며 6개의 강선이 배치되어 있다. 단면이 합성단면이므로 강재단면, 강선 포함단면 그리고 슬래브 환산단면으로 나누어 필요한 제원들을 구한다.

본 연구에서는 구조물의 합성거동을 밝히기 위해 하중의 단계는 합성전에 고정하중 및 프리스트레스하중이 작용하고, 합성 후에 활하중이 작용되는 것으로 이상화한다. 보의 지중은 강재 하중과 내부 충전 콘크리트에 의한 하중이고, 합성전 고정하중은 슬래브가 합성되기 전에 거더에 미치는 하중이며, 합성 후의 활하중은 DB24(DL24)하중을 사용한다.

교량의 지간은 40m를 대상으로 하였고, 슬래브의 두께는 25cm를 사용하였으며, 구조용 압연형강은 국내에서 상시 수급이 가능한 H형강을 대상으로 상하부 이음판은 H형강의 플랜지와 같은 두께를 사용함을 원칙으로 한다.

강합성교와 구분되는 특성중의 하나인 PSSC 교의 프리스트레스하중 효과를 밝히기 위하여 프리스트레스하중이 작용되지 않은 상태에서 PSSC 거더 단면에 고정하중과 활하중이 작용될 때 강재에서 발생하는 최대응력이 허용응력에 도달하는 표준단면을 정한다. 또한 프리스트레스는 표준단면에 고정하중과 활하중이 작용될 때 강재의 상·하단에 같은 응력이 발생하도록 크기를 정한다.

PSSC 거더의 강재부는 2개의 압연형강과 이를 연결하는 상·하부 이음판으로 구성이 되므로 압연형강을

Table 1 대상구조물의 사용재료

명칭	사용재료	비고	
강재	H형강	SM490	
	이음판	SM490	
긴장재	SWPC7B/6가닥	저틸락세이션 강연선	
슬래브	$f_{ck} : 270\text{kgf/cm}^2$		

Table 2 검토대상 교량의 제원

항목	크기	
지간	40m	
H형강의 단면2차모멘트 (H912x302x18x34)	강재단면	1,815,143cm ⁴
	슬래브포함 환산단면	3,672,133cm ⁴
프리스트레스힘	97,210kgf	
이음판 두께	2.80cm	
슬래브 두께	25cm	
슬래브폭	250cm	

H912x302x18x34로 정하고 이를 연결하는 상·하부 이음판의 두께를 변화시켜 표준단면을 구하며, 이의 재료적 성질과 단면제원은 각각 다음의 Table 1 및 Table 2와 같다.

2.2 교량의 해석

교량의 해석은 교량해석 전용 프로그램인 Pentagon-Bridge를 이용하여 해석하며, 거더와 가로보를 Frame 모델로 이상화하여 프리스트레스를 포함한 교량 시공 단계의 하중과 DB24(DL24)하중을 적용한다.

해석 단면력에 대한 시공단계 변형도 및 응력 검토는 프라스트레스힘이 없는 경우, 초기 프라스트레스힘 이후의 단면변형에 따른 텐돈의 변형도를 고려하지 않은 경우 및 이를 고려한 경우에 대하여 검토한다. 이때 비교를 위해 프라스트레스힘이 없는 단면도 케이블을 배치한다.

또한 각각의 경우에 대하여 강재가 최초로 허용응력에 도달하는 시점을 기준으로 한 강도(허용 한계 모멘트, M_a), 강재가 최초로 항복되는 시점을 기준으로 한 강도(항복 한계모멘트, M_y) 및 상부슬래브의 상단의 변형도가 0.003에 도달할 때의 강도(강도 한계모멘트, M_u)를 구한다.

Table 3 교량의 해석 결과

항목	크기
활하중 처짐	4.47cm
고정하중 휨모멘트	5.634x10 ⁷ kgf-cm
활하중 휨모멘트	2.401x10 ⁷ kgf-cm

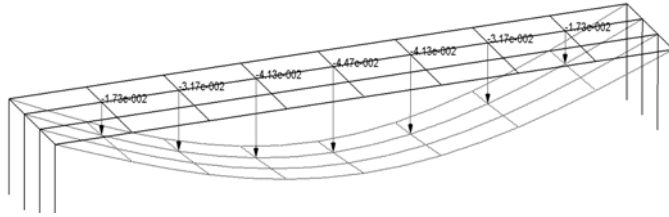


Fig. 3 40m PSSC교량의 활하중에 의한 처짐(단위:m)

2.3 교량의 한계모멘트 계산

PSSC 교량은 강재거더에 프리스트레스를 가한 후 상부슬래브를 타설하므로 시공과정과 고정하중 및 활하중의 재하과정에서 단계별 응력의 변화가 발생한다. 따라서 이들 각 단계와 M_a , M_y 및 M_u 에 도달할 때의 변형도와 응력변화를 구하였으며, 거더의 단면 회전각에 따른 휨모멘트의 변화를 구한다.

시공과정에 따른 단계별 휨모멘트와 한계모멘트에 이르는 과정은 Table 4와 같다.

거더 내의 변형도와 작용응력은 시공단계별로 강제자중이 작용하는 단계와 프리스트레스하중이 작용되는 단계와 합성전 고정하중이 작용되는 단계 및 합성후의 각 하중상태로 나누어 볼 수 있다.

이의 각 단계별 강도 산정을 위한 변형도의 계산은 합성전 작용하중과 프리스트레스에 의한 강제 내의 변형도를 초기값으로 하고, 압축측과 인장측의 합력이 평형상태가 되는 평형 중심축을 기준으로 한 변형도의 증가량에 대응하는 응력변화량을 전단면에 대해 적분

Table 4 시공단계별 단면의 응력변화

저항단면	작용하중	내용
강제	강제거더	강제자중 작용
강제+ 프리스트레스	프리스트레스	프리스트레스하중에 의한 축력 및 부모멘트 작용
강제+ 프리스트레스 + 슬래브	고정하중	상부슬래브등의 고정하중 작용
	활하중	차량 활하중 작용
	허용한계하중	강제가 허용응력에 도달
	항복한계하중	강제가 항복응력에 도달
강도한계하중	콘크리트의 변형도가 0.003에 도달	

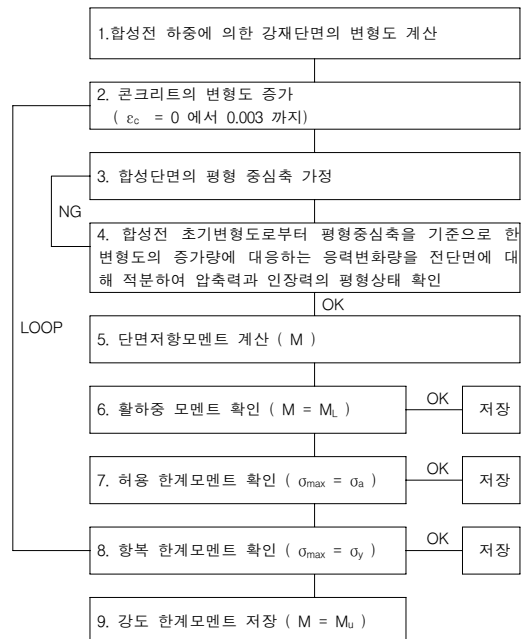


Fig. 4 PSSC 교량의 강도계산을 위한 프로그램 흐름도

하여 압축력과 인장력의 평형상태 확인하고 이 때의 저항모멘트를 계산한다. 각 한계모멘트와의 조건을 검토하여 같을 때에는 이의 변형도 및 응력상태를 저장하여 각 단계별 합성거동에 대한 응력변화를 구한다. 이러한 계산의 흐름도는 Fig. 4에 나타나 있다.

2.4 교량의 시공단계별 거동 분석

PSSC교량의 시공단계별 응력 해석은 다음과 같은 3가지 경우에 대하여 각각 수행한다.

Table 5 교량의 해석조건

경우	해석조건
Case 1	프리스트레스가 작용되고 단면의 변형에 따른 텐돈의 프리스트레스힘의 변화를 고려한 경우
Case 2	프리스트레스는 작용되었으나 단면의 변형에 따른 텐돈의 프리스트레스힘의 변화를 무시한 경우
Case 3	초기 프리스트레스를 가하지 않고 단면의 변형에 따른 텐돈의 인장력의 변화만을 고려한 경우

또한 각 경우에 대해 검토된 하중단계는 다음과 같다.

Table 6 하중단계

단계	하중상태
Stage 0	초기상태
Stage 1	프리스트레스가 작용된 상태
Stage 2	합성전 사하중이 작용된 상태
Stage 3	활하중이 작용된 상태
Stage 4	허용 한계모멘트에 도달한 상태
Stage 5	항복 한계모멘트에 도달한 상태
Stage 6	강도 한계모멘트에 도달한 상태

Fig. 5는 Case 1의 각 하중단계별 응력변화를 나타낸 그림이며, Fig. 6과 Fig. 7은 각각 회전각에 따른 슬래브 상·하단과 강재 상하단의 응력변화를 보여준다. 이때 회전각은 고정하중이 작용된 후 상부슬래브와 강재가 합성거동을 시작하는 상태(Stage 2)를 기준으로 한다.

Fig. 8은 각 단계별 모멘트 크기의 변화를 보여준다. Table 7은 이의 값을 정리한 표이며, Table 8은 이를 Stage 1에서 0의 값을 가지도록 보정한 표이다. 따라서 Table 8의 결과는 완성된 거더의 각 단계별 거더의 저항능력을 나타낸다.

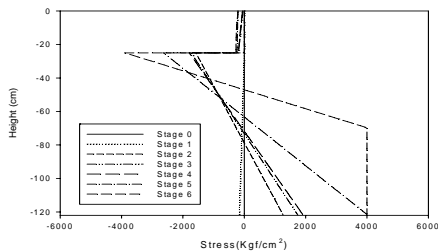


Fig. 5 하중단계별 거더의 위치에 따른 응력분포도

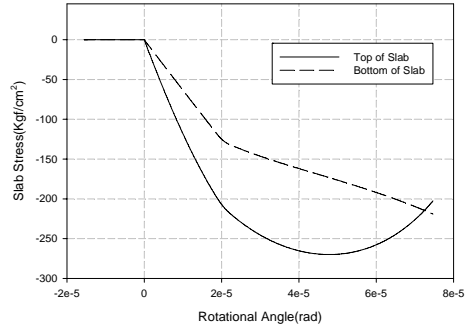


Fig. 6 회전각에 따른 슬래브 상·하단의 응력변화

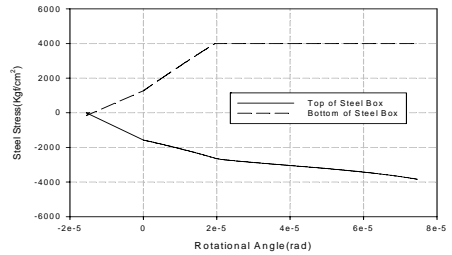


Fig. 7 회전각에 따른 강재 상하단의 응력변화

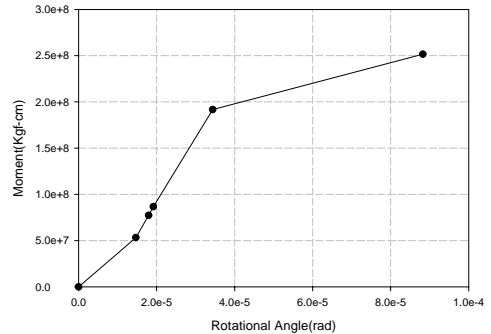


Fig. 8 각 단계별 모멘트의 크기 변화

Table 7 각 단계별 모멘트의 크기 변화(단위:Kg-cm)

단계	저항 모멘트의 크기
Stage 0	0.00000E+00
Stage 1	-3.02877E+06
Stage 2	5.33102E+07
Stage 3	7.73202E+07
Stage 4	8.66494E+07
Stage 5	1.91717E+08
Stage 6	2.51555E+08

Fig. 9와 Fig. 10은 단면의 회전각의 변화에 따른 단면저항모멘트의 변화와 평형 중심축의 변화를 보여 준다. 이때 평형 중심축의 높이는 거더 하단을 기준으로 한다.

이에 의하면 단면의 변형에 따른 텐돈의 변형을 무시한 경우(Case 2)에 강재가 항복에 이른 이후 단면 저항모멘트가 텐돈의 변형을 고려한 경우(Case 1)에 비해 현저히 감소되고 있고 이에 따라 평형 중심축도 크게 나타나고 있음을 보여 준다.

Table 8 각 단계별 모멘트의 크기 변화(단위:Kgf-cm)

단계	회전각(ϕ)	저항 모멘트의 크기	비고
Stage 0	-1.46849E-05	3.02877E+06	$-M_p$
Stage 1	-1.55192E-05	0.00000E+00	외부하중에 대한 초기상태
Stage 2	0.00000E+00	5.63390E+07	M_D
Stage 3	3.27025E-06	8.03490E+07	M_D+M_L
Stage 4	4.47965E-06	8.96782E+07	M_D+M_a
Stage 5	1.96818E-05	1.94746E+08	M_D+M_y
Stage 6	7.35697E-05	2.54584E+08	M_D+M_u

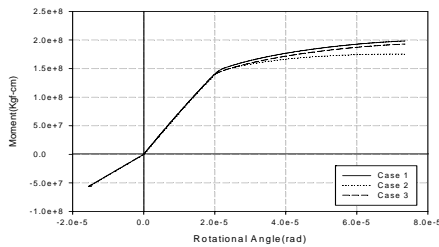


Fig. 9 회전각에 따른 모멘트의 크기 변화

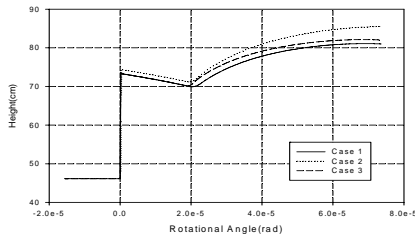


Fig. 10 회전각에 따른 평형 중심축 변화

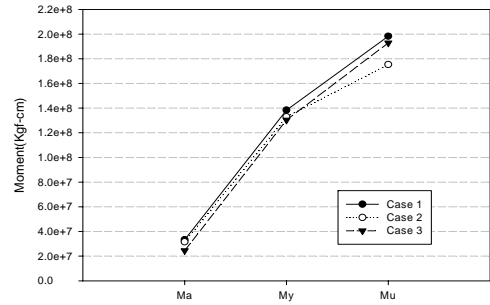


Fig. 11 각 경우별 한계모멘트의 크기

Table 9 각 경우별 한계모멘트의 크기(단위:Kgf-cm)

	Case 1	Case 2	Case 3
M_a	3.33392E+07	3.16247E+07	2.44305E+07
M_y	1.38407E+08	1.32945E+08	1.30260E+08
M_u	1.98245E+08	1.75262E+08	1.92857E+08

이에 비해 프리스트레스를 작용한 경우(Case 1)와 작용하지 않은 경우(Case 2)는 초기 프리스트레스에 의한 부모멘트의 크기의 정도의 단면저항모멘트의 차를 전 구간에서 나타내고 있다.

또한 단면의 회전각에 따른 평형 중심축의 높이는 강재가 항복에 이르는 점까지는 콘크리트의 비선형거동에 따라 서서히 감소하며, 이후에는 강재의 항복 단면적이 증가함에 따라 증가됨을 알 수 있으며, 강도 한계상태에 도달할 때까지 평형 중심축의 위치는 강재 단면에 내에 위치한다.

Fig. 11과 Table 9는 각 한계모멘트의 크기를 Case별로 비교한 것이다.

허용 한계모멘트(M_a)에서는 Case 1에 대한 Case 2와 Case 3의 비가 각각 0.95와 0.73으로 초기 프리스트레스의 영향이 단면변형에 의한 텐돈변형의 영향에 비해 크게 나타난다. 이에 비해 강도 한계모멘트(M_u)에서는 Case 1에 대한 Case 2와 Case 3의 비가 각각 0.88과 0.97로서 초기 프리스트레스의 영향에 비해 단면변형에 의한 텐돈변형의 영향이 크게 나타난다.

3. 신뢰도 분석

3.1 한계상태

구조물의 신뢰도를 분석하기 위해서는 먼저 한계상태함수(limit state function) 또는 성능함수(performance function)를 정의하여야 한다. 한계상태는 구조물이 만족할 만한 성능을 보이는 경계를 나타내는데, 이 연구에서는 첫째로 구조물의 사용성(serviceability)과 관련하여 처짐과 응력에 대한 한계상태를 가정하고, 둘째로 구조물의 강도(strength)에 대한 한계상태를 정의하여, PSSC 거더의 신뢰도 분석을 수행한다.

이 연구에서는 신뢰도 분석을 위하여, 처짐 및 응력에 관한 사용성 한계상태함수 g_s 를 가정한다. 즉, 식(1)과 같이 처짐이나 응력에 대한 허용값 R_a 에서 교량 거더의 처짐이나 응력 R_{girder} 을 뺀 값을 사용성 한계상태 함수로 가정한다.

$$g_s = R_a - R_{girder} \quad (1)$$

여기에서 처짐에 대하여는 도로교설계기준⁽⁵⁾에서 정의한 허용처짐량과 이 연구에서 사용한 예제 거더가 트럭 활하중을 받을 때 발생하는 거더 중앙점 처짐 값을 비교한다. 또한, 응력은 도로교설계기준⁽⁵⁾에서 정의한 허용응력과 이 연구를 위하여 허용응력에 맞추어 설계한 예제 거더가 사용하중을 받을 때 발생하는 응력을 비교한다.

정확한 의미의 사용성 한계상태는 설계기준에서 규정한 허용 값보다 다소 큰 응력으로 규정하겠으나, 이에 대하여 명확히 제시된 바가 없으므로, 이 연구에서는 설계기준의 허용 값에 대한 상대적인 신뢰도지수를 구한다. 그러므로 특히 응력에 관한 실제 사용성 한계상태에 대한 신뢰도지수의 범위는 이 연구의 허용응력에 대한 신뢰도지수보다 다소 클 것이다.

다음으로, 허용응력을 기준으로 설계된 단면이 가지는 강도에 대한 신뢰도를 구하기 위하여 강도한계상태 함수를 정의한다. 이 연구에서는 단면의 휨강도를 기준으로 하여, 식(2)와 같이 단면의 휨 저항강도 M_r 과 단면에 작용하는 외부하중의 효과인 고정하중 및 차량 활하중으로 인한 작용 휨모멘트 M_D 및 M_L 과의 차이로 한계상태를 정의한다.

$$g_u = M_r - M_D - M_L \quad (2)$$

위의 식(1) 및 (2)에서 $g=0$ 인 경우가 한계상태이며, $g>0$ 인 경우는 구조물 성능이 한계상태를 만족하는 경우이고, $g<0$ 인 경우는 한계상태를 위반하는 경우가 된다.

3.2 신뢰도지수

신뢰도 지수를 구하기 위하여 널리 사용하는 방법으로는 시뮬레이션 방법과 선형신뢰도해석 방법(first order reliability method, FORM) 중의 하나인 Rackwitz-Fiessler 방법이 있다. 시뮬레이션 방법은 한계상태함수를 구성하는 확률변수들에 대한 통계적 특성치를 이용하여 수치적인 기법으로 충분한 개수의 한계상태함수를 생성한 후 한계상태함수 값이 0보다 작은 경우의 빈도수를 세어 파괴 확률을 구하고 표준 정규분포의 역함수 관계로부터 신뢰도지수를 구한다. 현재 널리 사용되는 FORM은 확률변수의 평균과 표준편차를 이용하는 선형 2계 모멘트(first order second moment, FOSM) 방법인데, Rackwitz-Fiessler 방법은 여기에 확률변수의 분포형식에 따른 차이를 추가로 고려할 수 있도록 한 방법이다. 이 방법을 이용한 신뢰도계산에 관한 자세한 내용은 지면이 제한되어 참고문헌⁽⁸⁾으로 대신한다.

재료 및 단면의 치수에 대하여 본 연구에서 사용한 통계자료는 미국 및 캐나다의 교량설계기준 보정 연구⁽⁹⁾와 미국 콘크리트구조설계기준의 보정 연구⁽¹⁰⁾에서 사용한 값을 이용하였으며, Table 10과 같다. 이 표에서 사용한 편중계수 λ 및 변동계수 V 의 정의는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{\mu}{X_n}, \quad V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

여기서, μ 는 평균값, X_n 은 공칭값, σ 는 표준편차이다.

Table 10 재료, 치수 및 하중에 관한 기초 통계자료

	편중계수 λ	변동계수 V	분포형식
슬래브 두께	1.00	0.04	정규분포
강재 탄성계수	1.00	0.06	정규분포
콘크리트 압축강도	1.235	0.10	정규분포
고정하중	1.05	0.10	정규분포
활하중	1.00	0.18	정규분포

이들 재료와 치수의 변동으로 인한 편중계수와 변동계수를 각각 λ_{MF} 와 V_{MF} 라 하고, 추가로 해석모델의 변동성을 고려하는 전문성계수(professional factor)를 λ_p 와 V_p 로 한다면, 단면의 저항 값에 대한 편중계수 λ_R 과 변동계수 V_R 은 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_R = \lambda_{MF} \lambda_p, \quad V_R = \sqrt{V_{MF}^2 + V_p^2} \quad (4)$$

이 연구에서는 문헌⁽⁷⁾ 자료를 택하여 $\lambda_p = 1.05$, $V_p = 0.06$ 를 사용한다.

처짐과 응력에 대한 신뢰도지수는 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 구하며, Table 11과 같다. 예제 단면이 허용응력에 맞추어 설계한 단면이므로, 응력에 대한 신뢰도 지수는 0 보다 약간 큰 값을 주고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 허용응력에 대한 여유가 0에 가까움을 알 수 있다. 이에 반하여 처짐에 대한 신뢰도 지수는 8 이상이므로, PSSC 거더는 설계기준의 처짐 한계에 대하여 충분히 큰 신뢰도 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

강재의 응력이 항복응력에 도달하는 시점의 단면모멘트인 M_y 와 슬래브 콘크리트의 압축 변형률이 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 에 도달하는 시점의 단면모멘트인 M_u 에 대한 신뢰도 지수를 구하기 위하여, 재료의 강도와

Table 11 응력과 처짐에 대한 신뢰도지수

	응력	처짐
Case 1	0.49	8.06
Case 2	0.51	8.05
Case 3	0.30	8.06

Table 12 단면 휨강도에 대한 신뢰도지수

	기호	공칭값 [kgf-cm]	편중계수 λ	변동계수 V	신뢰도 지수 β
Case 1	M_a	9.0E+07	1.023	0.098	0.71
	M_y	1.9E+08	1.036	0.092	7.46
	M_u	2.5E+08	1.103	0.110	9.18
Case 2	M_a	8.8E+07	1.035	0.096	0.67
	M_y	1.9E+08	1.038	0.093	7.21
	M_u	2.3E+08	1.095	0.119	7.87
Case 3	M_a	8.1E+07	1.031	0.097	-0.02
	M_y	1.9E+08	1.038	0.093	7.05
	M_u	2.5E+08	1.104	0.111	8.95

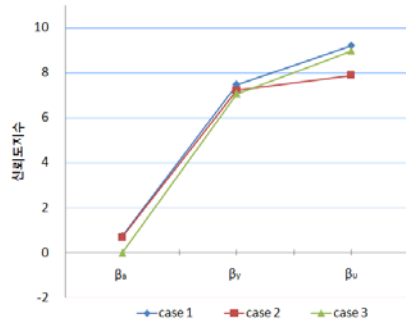


Fig. 12 단면 휨강도에 대한 신뢰도지수

제작 치수를 변동시켜 시뮬레이션을 통하여 Table 12 와 같이 단면 휨강도에 대한 편중계수와 변동계수를 구하고, Rackwitz-Fiessler 방법으로 신뢰도 지수를 구한다.

Fig. 12에 단면 휨강도에 대한 신뢰도지수를 도시 하였다. 허용응력에 맞춘 단면이므로, 허용응력에 도달한 시점의 휨강도인 M_a 에 대한 신뢰도지수는 0 부근이며, M_y 에 대한 신뢰도지수는 해석방법에 따라 7.05 - 7.46 이며, M_u 에 대한 신뢰도지수는 7.87 - 9.18 사이의 값을 가짐을 알 수 있다.

4. 결 론

최근 개발된 PSSC 거더 교량의 특성에 해당되는 합성구조과 프리스트레스의 효과를 밝히기 위해 해석 조건에 따라 교량에 작용되는 시공단계별 응력변화와

한계상태의 휨모멘트 값을 계산한다.

단면의 변형에 따른 텐돈의 변형의 영향은 강재가 항복에 이른 이후 현저히 감소되고 이에 따라 평형 중심축도 크게 나타난다. 이에 비해 프리스트레스의 영향은 초기 프리스트레스에 의한 부모멘트의 크기의 정도의 단면저항모멘트의 차가 전 구간에서 나타난다.

허용 한계모멘트에서는 텐돈변형을 고려하지 않은 경우와 프리스트레스힘을 가하지 않은 경우가 모든 요소를 고려한 경우에 비해 각각 0.95와 0.73으로 초기 프리스트레스힘의 영향이 단면변형에 의한 텐돈변형의 영향에 비해 크게 나타난다. 이에 비해 강도 한계모멘트에서는 각각 0.88과 0.97로서 초기 프리스트레스힘의 영향에 비해 단면변형에 의한 텐돈변형의 영향이 크게 나타난다.

또한 거더의 처짐 및 응력과 휨강도를 변수로 하는 한계상태들을 가정하고 이에 대한 신뢰도 분석을 수행하였다. 허용응력에 맞추어 설계한 예제 단면의 응력에 대한 신뢰도 지수가 0 부근임에 비하여, 처짐에 대한 신뢰도 지수는 높은 값을 주고 있어서 도로교설계 기준의 허용응력에 대하여 설계한 PSSC 거더는 처짐에 대하여 높은 신뢰도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 단면의 휨강도에 대한 신뢰도 지수에 있어서도, 강재의 휨응력이 항복응력에 도달하는 휨모멘트 M_y 와 슬래브 콘크리트의 변형률이 극한변형률에 도달하는 휨모멘트 M_u 에 대하여는 각각 12-13의 높은 신뢰도지수를 보임을 알 수 있다.

감사의 글

이 연구는 2007년도 중소기업기술혁신개발사업과

서울대학교 교량설계핵심기술연구단을 통한 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업 지원금에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정홍시, 김영우, 박재만, 신영석, “상용압연 형강을 이용한 콘크리트 합성거더의 다단계 긴장력 최적설계”, 한국전산구조공학회 2004년도 봄 학술발표회 논문집, pp. 95-102.
2. 아주대학교 토목기술 연구센터, “압연형강과 긴장재를 이용한 강교량 기술개발”, 2004.
3. 경원대학교 산학협력단, “PSSC 합성거더 연속화 실용화 연구”, 2006.
4. 황철성, 백인열, “PSSC 거더 교량의 한계상태별 신뢰도 비교”, 구조물진단학회지, 제11권 1호, 2007, 1월, pp. 171~180
5. 건설교통부, “도로교설계기준”, 2005.
6. 장승필, 심창수, “합성구조론”, 구미서관, 2005.
7. Nowak, A. S., “Calibration of LRFD Bridge Design Code”, NCHRP Report 368, Transportation Research Board., 1999.
8. Nowak, A. S. and Collins, K. R., “Reliability of Structures”, McGraw-Hill, 2000.
9. Nowak, A. S. and Grouni, H. N., “Calibration of the Ontario Highway Bridge Design Code 1991 edition”, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 21, 1994, pp. 25-35.
10. Nowak, A. S. and Szerszen, M. M., “Calibration of Design Code for Buildings (ACI 318): Part 1-Statistical Models for Resistance, ACI Structural Journal”, May-June, 2003, pp. 377-382.

(접수일자 : 2007년 10월 10일)