

철도교량형식의 경간에 따른 형고 및 공사비 비교연구

Comparison of Girder Height and Construction Cost by Span in Various Types of Railway Bridge

이태규[†] · 어성욱*

Tae-Gyu Lee · Seong-Wook Oa

Abstract The superstructure type of the railway bridge in our country, is mainly classified into the box girder and the I-type girder. The box girder is widely used in the high speed railway bridge because of the safety due to dynamic behavior. The I-type girder is used in the conventional railway bridge, and is also divided into the general type and the composite type, and the newly modified types have been developed. According to the current railway bridge design code, the girder design by the span length in various types of railway bridge is performed in this study. The suitable girder height and the construction cost by the span length are analyzed, and the comparative analysis of the structural efficiency and the economical efficiency is carried out. From this study, the composite type girder is appeared the good result in respect of the structural efficiency. However, in the economical aspect, the general I-type girder is required less cost than the other types.

Keywords : Railway bridge, Girder height, Direct construction cost, Efficiency

요 지 일반철도 및 고속철도를 포함한 철도교량의 상부구조로 현재 우리나라에서 주로 사용되고 있는 교량형식은 크게 박스 거더교와 I형 거더교로 구분된다. 박스 거더교는 동적 거동에 대한 안전성이 우수하기 때문에 주로 고속철도 교량으로 많이 사용된다. I형 거더교는 일반철도 교량으로 주로 사용되며, 일반 PSC 거더교 형태와 철골 철근콘크리트로 합성화된 구조인 프리플렉스 거더교의 형태로 크게 구분되고 또한 새로운 형식도 지속적으로 개발되고 있는 추세에 있다. 본 연구에서는 현행 철도교설계기준에 의거하여 각 형식별로 경간장에 따라 거더 설계를 실시하여 적절한 형고를 분석하며, 개략적인 교량가설 공사비를 산출하여 사용 경간장에 따른 구조적 효율성 및 경제성을 비교분석하였다. 이에 따른 비교분석을 수행한 결과, 구조적 효율성의 측면에서는 프리플렉스 거더교 형태의 교량이 경간장에 따른 형고는 가장 낮은 것으로 나타났으며, 가설 공사비의 측면에서는 일반 PSC 거더교 형태의 교량이 가장 경제적인 것으로 평가되었다.

주요어 : 거더교, 형고, 상부직접공사비, 효율성

1. 서론

1.1 연구의 배경

현재 우리나라에서 사용되고 있는 철도노반 중 교량은 승객의 편리하고 안전한 운행을 위하여 차량의 안전성, 승차감, 유지관리 등의 면에서 엄격한 조건들을 만족하여야 한다. 또한 고속철도교량은 일반철도교량에 비하여 다양한 설

계조 건에 대하여 검토하여야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 인터페이스도 만족하여야 하므로 보다 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리 등이 수행되어야 한다.

현재 운용되는 고속철도(KTX)는 시속 300km에 이르는 고속주행 열차의 운행에 적합한 교량의 설계를 위하여 고속도로나 일반철도교량의 설계기준 이상의 추가적인 요구사항을 만족하여야 한다. 즉 임의의 일정간격으로 반복 재하되는 하중의 영향(동적 구조 응답)과 피로 하중에 대한 안전도 검토가 그것이다. 또한 승차감 수준에 대한 기준 및 고속철도의 특수운행 요구사항, 유지보수, 점검, 보강 등의 작업시간 감소 요구사항을 만족하여야 한다[1].

[†] 책임저자 : 정회원, 우송대학교, 철도건설환경공학과, 부교수

E-mail : tglee@wsu.ac.kr

TEL : (042)629-6714 FAX : (042)636-2672

* 정회원, 우송대학교, 철도건설환경공학과, 부교수

현행 철도교 설계기준[2]에서 철도교량의 설계시 운행하중으로 HL하중선도를 사용하고 있는데 이는 1994년 결정된 TGV 차량형식에 의한 동력집중형(Push-pull type) 하중으로서 현재 개발이 진행되고 있는 차세대 고속철도인 동력분산형(Electric multiple unit) 차량의 열차속도, 차축간격, 수직하중 및 열차의 특성과는 많은 부분이 다를 것이 예상되므로 앞으로 이에 대한 연구가 절실히 필요한 실정이다.

동력분산형 차량의 경우 차량하중감소로 철도교량의 단면감소 또는 교량형식의 단순화 등이 기대되고 있으며, 이미 일본 및 유럽 등지에서 동력분산형 고속철도가 개발되었거나 개발이 진행 중에 있으며, 동력분산형 철도교량으로서 기존의 박스 거더교 뿐만 아니라 I형 거더교도 적용되고 있는 실정에 있다. 이에 따라 우리나라도 교량형식에 대한 전면적인 재검토를 통한 성능평가가 필요한 실정이다.

1.2 연구의 목적

앞서 언급한 바와 같이 차세대 고속철도인 동력분산형 철도차량의 개발로 인하여 철도교량 구조물에 미치는 영향은 기존과는 많은 부분에서 다를 것으로 예상된다. 이에 따라 대상 교량형식별 정적 및 동적 성능평가를 통한 안전성 분석, 구조형식 및 최적단면 선정, 가설비용에 따른 경제성 분석, 향후 고강도콘크리트 활용에 대비한 초기가설시 재료적 시간의존성 분석 등을 통하여 차세대 고속철도 교량에 대한 개념적인 설계방안을 제시하는 전반적인 과정이 필요하며, 이 과정에서 가장 기본적으로 교량형식별 특성에 대한 면밀한 재과악이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 과정을 위한 기반연구로서 현재 우리나라에서 주로 사용되고 있는 일반철도 및 고속철도를 포함하는 모든 교량형식에 대하여 현재의 설계기준에 따른 정적(Static) 해석을 수행하여 경간에 따른 형고 및 공사비 비교분석으로 구조형식의 효율성과 경제성에 대한 기본적인 성능평가를 수행하고자 한다.

2. 교량형식 선정 및 설계조건

2.1 경간장별 상부구조형식

현재 박스 거더교는 고속철도 및 일반철도에 모두 사용되고 있으며, I형 거더교는 모두 일반철도에서만 적용되고 있고 적용 경간장은 약 20~30m 전후에 이르고 있다. 교량의 상부구조를 결정하는 가장 큰 요인은 경간장(Span length)이며, 일반적인 경우에 있어서 경간장에 따른 상부구조형식은 Fig. 1과 같이 나타내고 있다. 여기서 보통

40m 경간을 전후하여 일반교량과 특수교량으로 구분되어지고 있다.

본 연구에서 고려하고자 하는 교량의 형태는 일반적인 설계절차에 의한 것이므로 특수교량을 제외한 일반교량의 형태로서, 경간장 40m를 기준으로 하여 그 이하의 경간장을 가지는 교량만을 대상으로 하고자 한다.

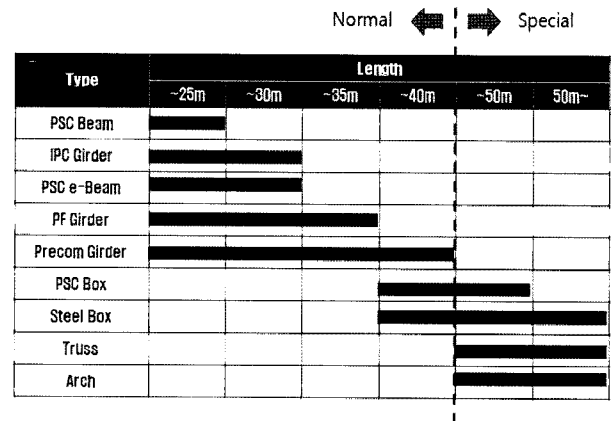


Fig. 1. Superstructure type by span length

2.2 설계조건

앞 절에서의 상부구조형식 중 보편적으로 많이 사용되는 일반교량과 신개념 교량형식들 중 적용성이 높은 구조를 선정하면 Table 1과 같다. 이렇게 선정된 교량형식별로 경간에 따른 형고 분석을 위하여 현행 설계기준에 의거하여 거더설계를 실시하였으며, 설계에 사용된 상세한 데이터는 Table 2 및 3과 같다[2,3]. 이와 같은 설계조건에 대하여 MIDAS-CIVIL 프로그램을 사용하여 구조설계를 수행하였다.

Table 1. Considered Railway bridge types

Division	Type	Description
Conventional	General	Box PSC-1 PSC-2 Prestressed concrete type Incrementally type
	Composite	Com-1 Com-2 Preflex type Prestressed composite type
Modified	Mod-1	Eccentric type
	Mod-2	Prefabricated type

Table 2. Sample data for design

Span length	Strength of concrete	Strength of steel
20m 25m 30m 35m 40m	$f_{ck}=40\text{MPa}$	$f_y=400\text{MPa}$ $f_{py}=1,600\text{MPa}$

Table 3. Considered loads

Load	Type
Dead	
2nd Dead	
Live	
Sidewalk live	
Creep and shrinkage	Time-dependent analysis by CEB-FIP model
Longitudinal	
Start/break	
Lateral	
Wind	
Temperature	

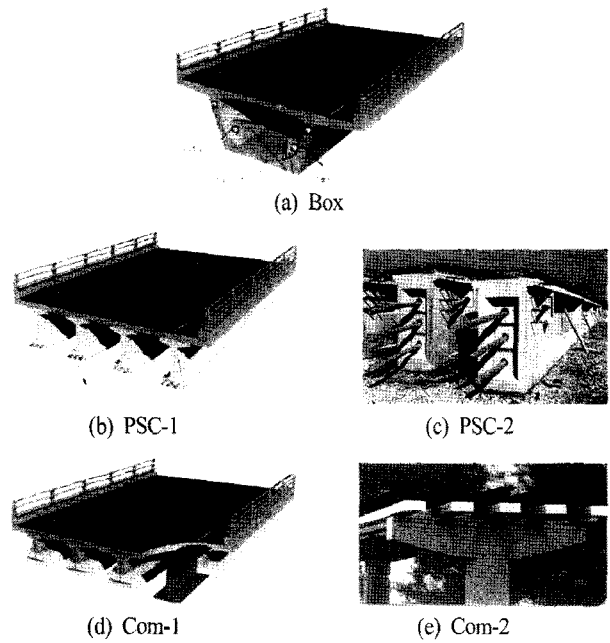


Fig. 2. Conventional bridge types

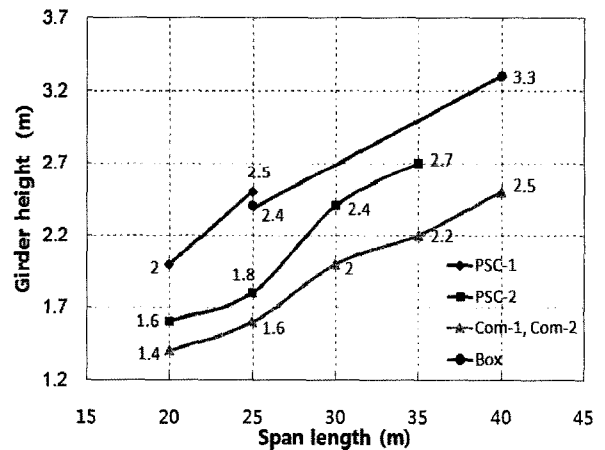


Fig. 3. Girder height by span in conventional type

3. 형고 및 형고비 비교연구

3.1 기존 형식

기존 교량형식들 중 대표적으로 Fig. 2와 같이 PSC 박스 거더교 및 I형 거더교의 5가지 형식에 대하여 비교분석을 수행하였다.

거더설계 결과 경간장별 형고 및 형고비는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. 경간장별 형고를 살펴보면 그림에서 보는 바와 같이 Box는 적용 경간장인 25, 40 m에 대하여 형고는 각각 2.4, 3.3m로 나타났다. PSC-1의 경우 경간 20, 25m에 대하여 형고 2.0, 2.5m로 나타났으며, 경간 30m 이상에서는 거더의 높이가 과도하게 증가하여 적용이 어려운 것으로 평가되었다. PSC-2의 경우에는 경간 20, 25, 30, 35m에 대하여 형고 1.6, 1.8, 2.4, 2.7m로 나타났으며, 경간 40m 이상에서는 적용이 어려운 것으로 평가되었다.

Com-1 및 Com-2의 경우에는 두 가지 형태 모두 경간

Type	Height Ratio					
	~8	~10	~12	~14	~16	~18
PSC 1			10			
PSC-2					12.5~14	
Com-1						14.3~16
Com-2						14.3~16
Box				10.4~12		

Fig. 4. Height ratio in conventional type

장에 따라 같은 결과를 보이는 것으로 나타나고 있으며, 적용 경간 20~40m까지 형고는 1.4, 1.6, 2.0, 2.2, 2.5m로 각기 변화되는 것으로 평가되었다.

이에 따라 위와 같은 결과를 각 교량형식별 형고비로 표현하면 Fig. 4와 같이 나타난다. 형고비는 상부구조의 높이

를 단위 길이인 1로 설정하였을 경우 필요한 경간의 길이를 나타내는 것으로, 형고비가 클수록 교량의 구조적 효율성이 높다고 말할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 PSC-1의 경우 10, PSC-2는 12.5~14, Com-1 및 Com-2는 14.3~16, Box는 10.4~12 정도의 값을 가지는 것으로 나타나고 있다. 이에 따라 강합성 형상인 Com-1 및 Com-2가 경간장에 따른 형고가 가장 적게 나타나고 있어 유리한 효과를 보이고 있으며, PSC-1이 가장 불리한 형태인 것으로 분석되었다.

3.2 신개념 형식

새로이 개발된 교량형식들 중 대표적으로 Fig. 5와 같이 두 가지 형식을 선정하여 비교분석을 수행하였다[4].

Mod-1의 일반적인 특징은 일반 PSC 형식대비 장경간 형식으로 확장이 가능하며 강성증대로 형고를 낮추어 다리밑 공간 확보에 유리하고 거더 거치 후 2차 긴장 및 유지관리 용 강선장착의 공정을 추가할 수 있으나, 열차진동에 의한 강판매입부의 균열 발생에 대한 검토가 필요한 구조이다.

Mod-2의 일반적인 특징은 형고가 낮아 다리밑 공간의 확보가 유리하며 박스형태로 구조적 안전성이 우수하고 바닥 판 타설공정이 필요없어 시공성이 양호한 구조이지만, 상부 사하중이커서 구조단면이 다소 증가되며 유지관리를 위한 공법이 필요한 구조이다.

거더설계에 따른 결과 경간장에 따른 형고 및 형고비의 비교는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다. 경간장별 형고를 살펴보면 그림에서 보는 바와 같이 Mod-1의 경우 경간 20, 25, 30, 35m에 대하여 형고 1.4, 1.8, 2.2, 2.6m로 나타났으며, 경간 40m 이상에서는 적용이 어려운 것으로 평가되었다. Mod-2의 경우에는 경간 20~40m까지 형고는 1.4, 1.6, 2.0,

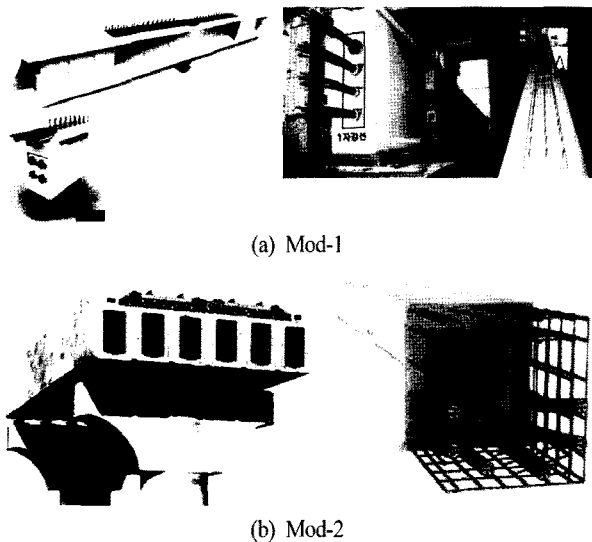


Fig. 5. Newly modified bridge types

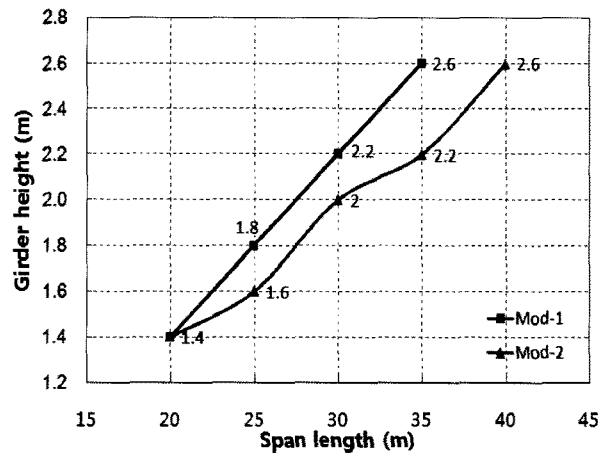


Fig. 6. Girder height by span in modified type

Type	Height Ratio					
	-8	-10	-12	-14	-16	-18
Mod-1					13.5~14.3	
Mod-2						14.3~16

Fig. 7. Height ratio in modified type

2.2, 2.6m로 각각 변화되는 것으로 평가되었다.

이에 따라 이러한 결과를 형고비로 표현하면 Fig. 7과 같이 나타난다. Mod-1의 경우 13.5~14.3, Mod-2의 경우 14.3~16 정도의 값을 가지는 것으로 나타나고 있어 큰 차이를 보이지는 않고 있지만 Mod-2가 장경간에의 적용에 따른 구조적 효율성의 측면에서 다소 효과적인 것으로 나타나고 있다.

4. 상부직접공사비 비교연구

4.1 기존 형식

기존 교량형식별 단위 m^2 당 상부직접공사비의 비교는 Fig. 8과 같으며, 이 때 공사비의 산정은 2007년도 상반기의 실적 공사비단가[5]를 적용하였다. 이때 공사비는 산정방식에 따라 그 액수가 다소 달라질 수 있으며, 본 연구에서는 국내 전문업체 2곳의 공사비 산정방식을 평균으로 취하였다. 그림에서 보는 바와 같이 공사비는 위의 형고비 분석의 결과와는 다소 상반된 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. PSC-1은 가장 경제적인 형상으로 경간장에 따라 상부직접공사비가 약 48~56만원/ m^2 정도로 평가되었다. PSC-2는 경간장에 따라 다소 차이는 있지만 상부직접공사비가 약 67~78만원/ m^2 정도로 거의 일정한 수준의 값을 가지고 있으며, Com-2는 상부직접공사비가 약 67~114만원/ m^2 정도로 초기에는 PSC-2와 비슷하지만 경간장이 길어질수록 공사비의

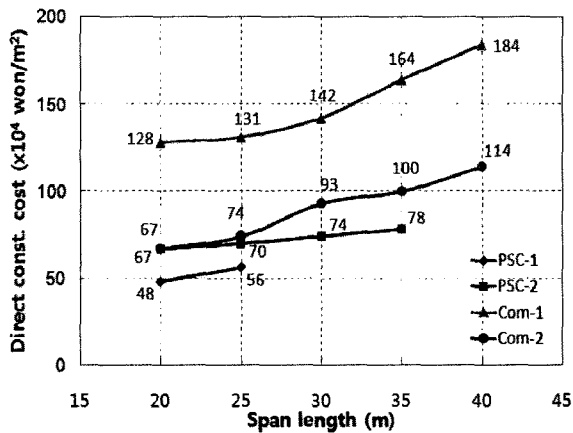


Fig. 8. Direct construction cost by span in conventional type

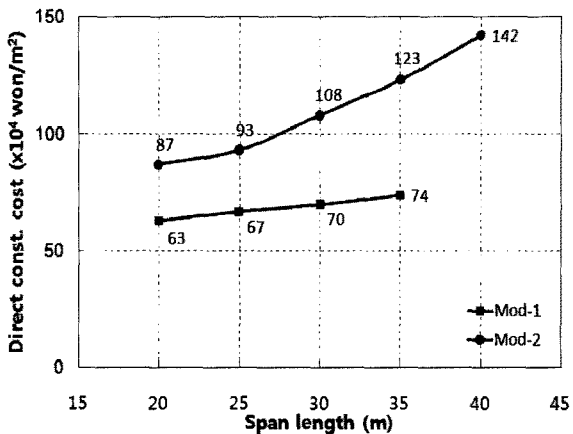


Fig. 9. Direct construction cost by span in modified type

차이가 더욱 더 커지는 것으로 나타나고 있다.

Com-1은 상부직접공사비가 약 128~184만원/m² 정도로 모든 경간장에 걸쳐 가장 공사비의 규모가 큰 것으로 나타나고 있으며 경간장 증가에 따른 공사비 증가액의 비율도 가장 크게 나타나고 있다.

한편 Box는 상부구조의 가설방식(MSS, ILM, FCM 등)에 따라서 공사비의 차이가 많이 발생하기 때문에 그림에 도시하는 것이 불가능하여 생략하였다.

4.2 신개념 형식

신개념 교량형식별 단위 m²당 상부직접공사비의 비교는 Fig. 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 신개념형식도 기존형식과 마찬가지로 공사비는 위의 형고비 분석의 결과와는 반대의 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. Mod-1이 다소 경제적인 형상으로 경간장에 따라 상부직접공사비가 약 63~74만원/m² 정도로 평가되었으며, 또한 경간장이 길어지는 것에 비하여 공사비의 증가는 거의 미미한 것을 보여주고 있다. 반면 Mod-2는 경간장이 길어질수록 공사비 증가액의 비율이 다소 커지는 결과를 보이고 있

며, 상부직접공사비는 약 87~142만원/m² 정도로 나타나고 있다.

5. 상대 비교연구

형고비에 따른 구조적인 효율성이나 공사비에 따른 경제성은 두 가지 모두 교량형식을 선정하고 가설하는 단계에 있어서 매우 중요한 요소로 작용된다. 또한 어느 것에 더 가중치를 설정하느냐에 따라 교량형식의 선정이 좌우된다. 현재 시공사례를 보면 일반적으로 일반철도에서 경간이 짧은 경우에는 경제성에 보다 더 비중을 두는 경향이 있으며, 고속철도에서 경간이 긴 경우에는 구조적 효율성 및 동적 안전성에 더 비중을 두는 경향을 보이고 있다.

하지만 가중치를 어디에 두느냐 하는 것은 사회적 여건, 현장상황, 예산규모 등 여러 가지 요인에 따라 달라지기 때문에 본 연구에서는 형고비와 공사비의 두 가지 요인을 동일한 가중치(50:50)로 가정하여 분석을 수행하였다. 여기에서 박스 거더교는 적용되는 가설공법별로 공사비가 크게 달라지며 동적 안정성 분석이 또한 동시에 이루어져야 하기 때문에 형고비와 공사비만으로 분석하는 것이 불가능하므로 본 장의 비교연구에서는 배제하였다.

적용 경간장별로 교량형식에 대하여 형고비 및 공사비에 대한 최고값과 최저값을 각각 50점과 0점으로 환산하여 상대적인 비율로 나타내면 Table 4 및 Table 5와 같다.

형고비를 살펴보면 경간 40m의 Com-1 및 Com-2가 가

Table 4. Relative grade of height ratio

Type	Span length (m)				
	20	25	30	35	40
PSC-1	0	0	-	-	-
PSC-2	20.8	32.4	20.8	24.7	-
Com-1	35.7	46.9	41.7	49.2	50
Com-2	35.7	46.9	41.7	49.2	50
Mod-1	35.7	32.4	30.3	28.8	-
Mod-2	35.7	46.9	41.7	49.2	44.9

Table 5. Relative grade of construction cost

Type	Span length (m)				
	20	25	30	35	40
PSC-1	50	47.1	-	-	-
PSC-2	43.0	41.9	40.4	39.0	-
Com-1	20.6	19.5	15.4	7.4	0
Com-2	43.0	40.4	33.5	30.9	25.7
Mod-1	44.5	43.0	41.9	40.4	-
Mod-2	35.7	33.5	27.9	22.4	15.4

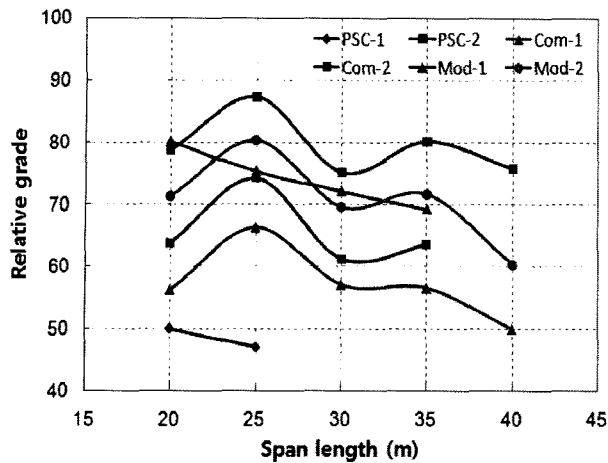


Fig. 10. Total relative grade by span length

장 기 형고비를 나타내고 있어 최고치인 50으로 설정되었으며, 경간 20m 및 25m의 PSC-1이 가장 작은 형고비를 나타내고 있어 최저치인 0으로 설정되었다. 이외의 다른 경간에서의 교량형식들은 형고비의 비율에 따라 각각 상대적인 수치들로 환산되었다.

공사비를 살펴보면 경간 20m의 PSC-1이 가장 적은 공사비를 나타내어 최고치인 50으로 설정되었으며, 경간 40m의 Com-1이 가장 많은 공사비를 나타내어 최저치인 0으로 설정되었고, 이외의 다른 경간에서의 교량형식들은 공사비의 비율에 따라 각각 상대적인 수치들로 환산되었다.

이들 두 가지의 수치들을 합산하여 상대적인 수치비교를 수행하면 Fig. 10과 같이 나타난다. 그림에서 보는 바와 같이 PSC-1과 Mod-1은 단경간에서는 효과적인 형식이지만 장경간으로 갈수록 그 효과가 저하되고 있음을 볼 수 있다.

그 외의 다른 교량형식들은 모두 비슷한 양상을 보이고 있는데 특이할 사항은 경간을 20, 30, 40m와 같이 단자리를 0으로 설정하는 것에 비하여 25, 35m와 같이 단자리를 5로 설정하는 것이 상대적인 수치가 높게 나타나고 있어 효과가 더 좋은 것으로 분석되고 있다.

6. 결론

철도교량형식의 경간에 따른 형고 및 공사비 비교연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 형고비에 따른 분석으로 구조적 효율성이 높은 교량형식일수록 상부 직접공사비의 개념으로 본 경제성은 낮은 것으로 나타나고 있어 구조적 효율성과 경제성은 상호 완전 반비례하는 관계를 가지고 있는 것으로 평가되었다.
- (2) PSC-1은 경제성의 측면에서 볼 때 가장 좋은 구조형식이지만 구조적 효율성이 낮아 장경간에서의 활용은 매우 어려울 것으로 평가되었다. 반면에 Com-1은 구조적 효율성은 높게 나타나지만 경제성이 저하되어 실제 적용에는 매우 신중하게 고려하여야 할 것으로 판단된다.
- (3) 형고비와 공사비를 동일한 가중치로 가정한 상대 비교 연구결과로 볼 때 경간의 선택에 있어서 25, 35m와 같이 단자리를 5로 설정하는 것이 보다 더 효과적인 결과를 보이는 것으로 평가되었다.
- (4) 향후 동적 구조성능평가를 통하여 안전성에 대한 정밀 분석을 추가로 실시한 후 상대적인 비교연구결과를 보완하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07 차세대고속철도 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원(2000), "고속전철 구조물 안전성 기술 개발".
2. 한국철도시설공단(2004), "철도설계기준(철도교편)".
3. 한국콘크리트학회(2007), "콘크리트구조설계기준".
4. 동양대학교(2007), "철도교 PSC e-Beam와 4개교 VE/LCC 분석", 우경건설, 48p.
5. 건설연구사(2007), "2007년 상반기 실적공사비".

접수일(2008년 2월 24일), 수정일(2008년 8월 1일),
 게재확정일(2008년 8월 17일)