

PSC 박스거더 교량 상부 가설공법 변경을 통한 시공 VE 사례

글 조현준 \ 토목기술부 대리 \ 전화 02-3433-7918 \ E-mail hjcho@ssyenc.com
 글 문경술 \ 호남고속철도 2-4공구 과장 \ 전화 063-862-8015 \ E-mail tnewso71@ssyenc.com
 글 우동인 \ 토목구조기술사 \ 토목기술부 부장 \ 전화 02-3433-7776 \ E-mail diwoo@ssyenc.com

1. 머리말

최근 화두가 되고 있는 VE(Value Engineering)는 발주처의 적용 지침 고시와 시행자의 경제성 극대화를 위한 노력 등에 의해 선택이 아닌 필수 사항으로 자리매김 되고 있다. 건설 분야에서의 VE는 일반적으로 공사에서 요구되는 기능(성능, 품질, 공기, 안전성 등)을 향상시키고, 보다 합리적인 비용을 산출하기 위한 조직적인 노력이라고 할 수 있는데, 계획, 설계, 시공 및 유지관리와 관련된 세부 단계에서 발생하는 생애비용(LCC : Life Cycle Cost)의 상관관계를 분석하고 개선하여 원가절감, 시공품질 향상, 공기단축 등의 공사가치 향상을 최종 목표로 한다.

서와 시공법이 확정된 이후의 작업이므로 근원적인 개선을 이루는 데에는 한계가 있지만, 실질적인 현장여건을 고려한 검토가 가능하고, 세부적인 항목에서 도출되기 때문에 다양한 항목에서 개선효과를 기대할 수 있다.

따라서 계획·설계단계이든 시공단계이든, VE를 통해 효과적으로 가치를 창출하는데 있어서 무엇보다도 중요한 것은 엔지니어가 활용 가능한 아이디어 제시와 적극적인 VE 활동 즉, 원가절감을 위한 적극적인 사고와 행동이라 할 수 있다.

본고에서 소개할 내용은 호남고속철도 2-4공구 현장에서 수행한 시공 VE 사례로, 66경간 PSC 박스거더 교량의 일부 구간이 당초 FSM(Full Staging Method)공법으로 시공하기로 설계되었으나, 시공여건과 경제성 및 안전성 등을 고려하여 PSM(Precast Segment Method)공법으로 시공하도록 설계변경한 사례이다. 이와 같이 현장 상황에 더욱 적합한 공법을 모색한 결과, 교량 상부 가설공법 변경을 제시하여 품질 확보와 공사비 절감은 물론, 공기 단축과 안전시공을 가능토록 하였다.

2. 공사 및 VE 개요

2-1. 공사 개요

호남고속철도 2-4공구 현장은 충청남도 논산시 강경읍 채운리에서 전라북도 익산시 낭산면 용기리까지의 10.66km 구간으로, 2009년 11월에 착공하여 2013년 3월에 준공 예정이다.

호남고속철도는 2017년까지 충청북도 오송시에서 전라남도 목포시까지 230.9km를 고속철도로 연결하는 사업으로, 2004년 경 부고속철도를 개통으로 세계 다섯 번째의 고속철도 보유국이 된



[그림 2] 과업 구간 노선도

표 1 호남고속철도 2-4공구 공사 개요

공사명	호남고속철도 2-4공구 노반건설 공사
현장 위치	충남 논산시 강경읍 채운리 ~ 전북 익산시 낭산면 용기리 일원
공기	2009. 11. 24 ~ 2013. 3. 23(40개월)
연장	10.660km
발주처	한국철도시설공단
감리단	동부엔지니어링(주), (주)수성엔지니어링
시공사	쌍용건설(주), 경남기업(주), 성지건설(주), 임광토건(주)
내용	토공 : 쌓기 1,140,000m³, 깎기 7,698m³
	교량 : 6개소 L = 6,115m
	구교 : 16개소
	가시설 및 부대공 1식

표 2 호남고속철도 2-4공구 교량 개요

교량명	형식	경간장 구성	가설공법
신작교	PSC 박스 거더	54@35m = 1,890m	PSM
어랑교		30m+2@40 = 110m	PSM & FSM
화배교		14@35m = 490m	PSM
화실교		8@35m = 280m	PSM
죽산교		21@35m+3@30m+40m+30m+2@35m +5@30m+10@35m+4@30m+2@35m +2@40m+4@30m+12@35m = 2,240m	PSM & FSM
중리교		20@35m+3@30m+9@35m = 1,105m	PSM

우리나라는 경기권과 호남권을 잇는 또 다른 고속철도 노선을 구축하게 된 것이다. 2014년에 개통되는 오송~광주 1단계 구간이 19개 공구로 나누어 공사가 진행 중에 있으며, 광주와 목포 구간은 이후 2017년까지 최종 완료하게 된다. 이 노선이 완성되면 서울~목포 간의 이동시간이 1시간 46분으로 단축되기 때문에 기존의 경부축에 국한되었던 반나절 생활권이 전국으로 확대되고, 지역의 균형 있는 발전과 성장 동력 확보에 큰 역할을 할 것으로 기대하고 있다.

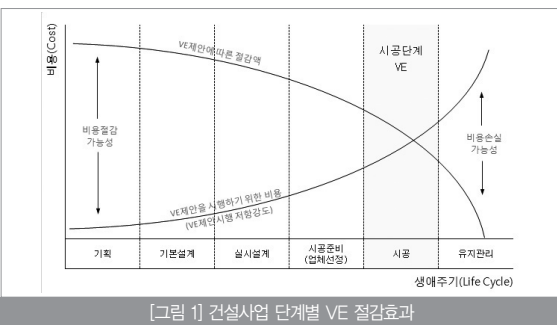
당사가 담당하고 있는 2-4공구 현장은 크게 4.5km의 토공구간과 6.2km의 교량구간으로 구성된다. 이 중 교량구간은 <표 2>에 나타난 바와 같이 총 6개소의 교량으로 구성되는데, 주로 PSM(Precast Span Method)공법과 FSM(Full Staging Method)공법이 적용된다.

2-2. VE 수행 배경 및 목적

당 현장에서는 착공 이후 공기단축 및 비용절감을 위해 경제성, 현장적용 타당성, 시공 안전성 등을 지속적으로 검토하여 왔으며, 다음의 사항들을 주목적으로 본격적인 시공 VE를 진행하게 되었다.

- 기능 및 비용을 고려한 최적 대안의 도출
- 경제적 대안검토를 통한 총 사업비 절감
- 공기단축 및 시공성 확보를 위한 공법선정
- 공사 중 안전성 확보

그 결과, 공사가 한창 진행 중인 현재까지도 수 건의 원가절감 효과를 달성할 수 있었으며, 그 중 가장 주목할 만한 사례가 이번 소개하고자 하는 죽산교 상부 가설공법 변경에 의한 시공 VE 사례이다. 죽산교는 66경간 PSC 박스거더 교량으로, 대부분 구간이 PSM공법으로 시공되나 일부 3경간이 FSM공법을 적용하여 시공하도록 설계되었다. FSM공법은 PSM공법에 비해 공사비가 저렴하지만, 공기가 많이 소요되고, 지형조건에 영향을 크게 받기 때문에 시공 여건상의 불확실한 요소가 존재하게 되며, 투입 인원과 장비가 많아 안전 사고 발생의 우려가 있다. 따라서, 여러 가지 시공 여건과 안전성 등을 고려할 때, FSM공법을 최소화하고 타



[그림 1] 건설사업 단계별 VE 절감효과

[그림 1]에서 알 수 있듯이 통상적으로 VE를 통한 비용절감은 시작단계에 가까울수록 극대화되기 쉬운데, 이는 더 큰 계획 단위의 설계변경을 진행할 수 있기 때문이다. 그러나 계획이나 설계단계에서 이루어지는 VE 검토는 공사 진행 중 파악되는 세부적인 시공여건이 간과되기 쉬운 반면, 시공단계에서의 VE는 이미 설계도

구간과 일관되도록 PSM(Precast Segment Method)공법을 적용하는 것이 타당하다고 판단되어 설계변경을 계획하였다.

3. 설계변경 현황

3-1. 가설공법 개요

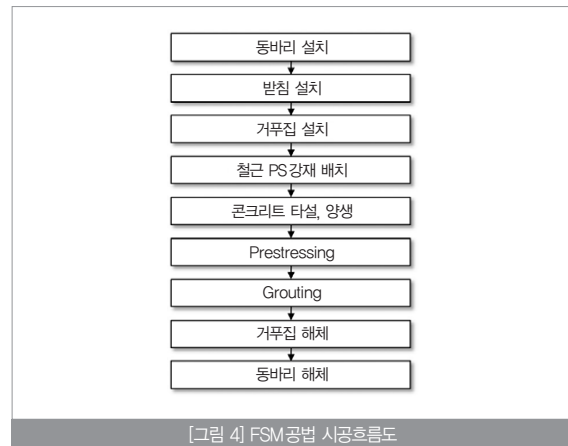
1) FSM(Full Staging Method)공법

콘크리트를 타설하는 구간 전체를 동바리를 설치하여 타설된 콘크리트가 소정의 강도에 도달할 때까지 콘크리트의 자중 및 거푸집, 작업대 등의 중량을 일반적으로 동바리가 지지하는 방식으로 PS콘크리트 가설공법 중 가장 일반적인 공법이다. 최근에는 여러 가지 공법의 개발로 그 사용 예가 다소 줄었으나, 평탄한 지형에 적당한 높이의 짧은 교량을 가설할 경우에는 많이 적용되고 있다.



[그림 3] FSM공법

FSM공법은 비용이 저렴하고 시공이 단순하다는 장점이 있으나, 현장 타설이기 때문에 품질의 불확실성이 크고, 설치 및 해체 시 많은 시간이 소요되며 상대적으로 인력 투입량이 많아 안전사고가 우려되는 공법이다. FSM공법의 시공순서는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] FSM공법 시공흐름도

2) PSM(Precast Segment Method)공법

PSM은 일정한 길이로 제작된 교량 상부구조를 제작장에서 균일한 품질로 제작한 후, 가설장소에서 가설장비를 이용하여 소정의 위치에 거치하고 Post Tensioning 장치에 의하여 Segment들을 연결하여 상부구조를 완성시키는 공법으로, 다음과 같은 특징이 있다.

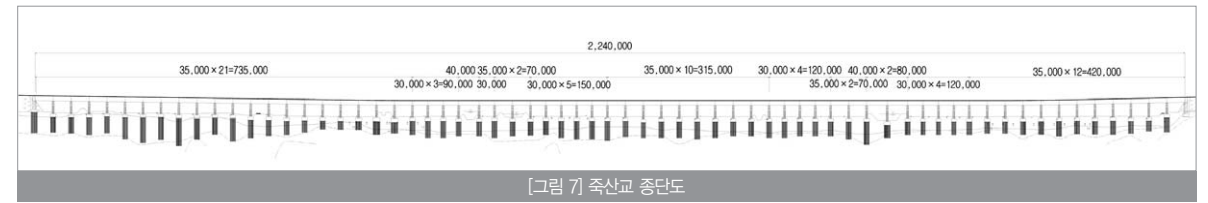
- ① Segment는 지정된 공장 또는 제작장에서 제작되므로 콘크리트 품질관리가 용이하고, Segment를 연속적으로 제작하므로 인력관리 및 거푸집 전용이 가능하다.
- ② Segment 제작을 하부고정과 병행할 수 있으므로 현장 타설 방식에 비해서 공기를 단축시키는 효과를 볼 수가 있다.
- ③ 상부구조 가설 시 콘크리트는 상당한 재령에 도달해 있으므로 가설 후에 발생하는 Creep, Shrinkage 등에 의한 소성변형이 작게 발생하여 Prestress 감소량이 적다.
- ④ 가설용 거더로 제작된 상부 구조물을 이용하므로 교량 하부의 지장물에 영향을 받는 일 없이 가설이 가능하다.
- ⑤ Segment의 운반, 가설을 위해 비교적 대형 장비가 필요하며, Segment 제작 및 야적을 위한 별도의 장소가 필요하다.



[그림 5] PSM공법



[그림 6] PSM공법 시공흐름도



[그림 7] 축산교 종단도

3-2. 변경 현황

1) 구조물 개요

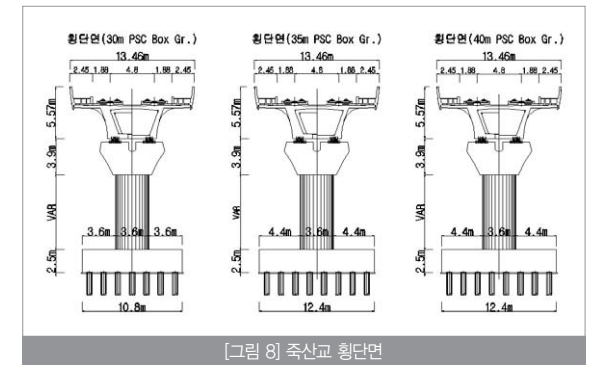
축산교는 총 연장이 2,24km인 66경간 PSC 박스거더 교량으로 교량 개요와 시간별 가설공법은 각각 <표 3>과 <표 4>와 같다.

표 3 축산교 개요

교량개요	
상부형식	PSC 박스거더교
경관구성	21@35m+3@30m+40m+30m+2@35m+5@30m+10@35m+4@30m+2@35m+2@40m+4@30m+12@35m = 2,240m (66경간)
가설공법	FSM(40m), PSM(30m, 35m)
교량폭원	13.46m
평면선형	R = ∞ (직선교)
설계속도	350km/h
하부형식	충실원형교각, 박스식 라멘교대, 고강도 강관말뚝 기초 가시설 및 부대공 1식

표 4 축산교 시간구성 및 상부 가설공법

연번	위치(교각 No)	시간구성	공법
1	A1~P21	21@35m	PSM
2	P21~P24	3@30m	
3	P24~P25	40m→35m	
4	P25~P26	30m→35m	PSM
5	P26~P28	2@35m	
6	P28~P33	5@30m	
7	P33~P42	10@35m	PSM
8	P42~P46	4@30m	
9	P46~P48	2@35m	
10	P48~P49	40m	FSM
11	P49~P50	40m→35m	FSM→PSM
12	P50~P51	30m→35m	PSM
13	P51~P54	3@30m	
14	P54~A2	12@35m	



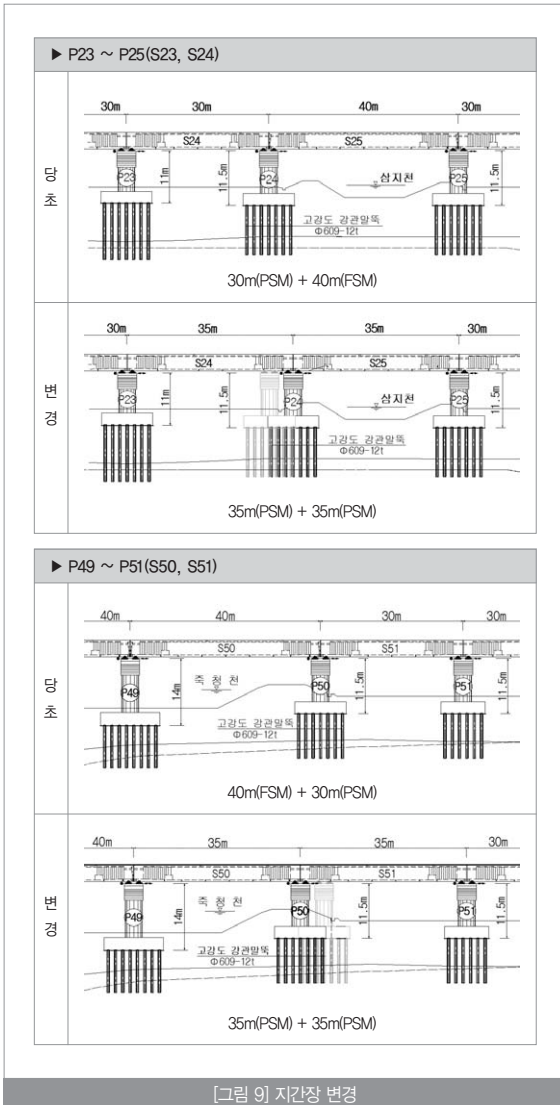
[그림 8] 축산교 횡단면

2) 변경 현황

축산교는 시간이 30m, 35m, 40m의 3가지 형식으로 구성되는데, 이중 시간장이 30m와 35m인 경우에는 PSM공법으로, 시간장이 40m인 경우에는 FSM공법으로 가설하도록 계획되었다. <표 4>에서 알 수 있듯이 전체 66경간 중 일부 3경간만이 FSM공법이 적용되어 있어, 시공성과 경제성 그리고 작업 시 안전성 등을 고려하여, FSM공법의 적용을 최소화하고자 하였으며, FSM공법 구간을 3경간에서 1경간으로 줄이도록 변경하였다. 즉, <표 5>와 [그림 9]에서 보여주는 바와 같이 당초 P23~P25(S24, S25) 삼지천 구간의 시간 구성이 30m(PSM)+40m(FSM), P49~P51(S50, S51) 축청천 구간이 40m(FSM)+30m(PSM)로 되어 있었던 것을 해당 시간의 중앙 교각 P24와 P50의 위치를 5m씩 조정하여 모두 35m(PSM)+35m(PSM)로 변경함으로써 당 과업을 수행하는데 있어서 공기 단축과 공사비 절감이 가능하고, 작업 시 상대적으로 안전한 가설공법인 PSM공법이 적용되도록 한 것이다. <표 6>은 이를 통한 장·단점들을 나타낸 것이다.

표 5 축산교 시간장 및 공법 변경 현황

교각 No.	당초		변경	
	시간길이	공법	시간길이	공법
P23~P24(S24)	30m	PSM	35m	PSM
P24~P25(S25)	40m	FSM		
P49~P50(S50)	40m	FSM		
P50~P51(S51)	30m	PSM		



[그림 9] 지간장 변경

4. 지간장 변경에 의한 구조 안전성 검토

죽산교는 66경간 단순교로, 정적하중에 대해서 교각 간의 연계성이 없고, 교각 위치가 5m 이동되는 곳의 지반조건이 당초 위치의 지반조건과 크게 상이하지 않을 것이라 판단하여, 일시와 지진 시에 대한 검토를 수행하였다.

교량의 지간 구성이 변경될지라도 상부구조는 기존의 3가지 형식(30m, 35m, 40m)별로 수행된 원 설계를 그대로 적용하면 된다. 그러나 하부구조에 전달되는 하중은 부분적으로 재분배되기 때문에 하부 구조물의 안전성에 대한 재검토가 필요하다.

표 6 상부 가설공법 변경 시 장·단점

구분	당초	변경
적용공법	FSM 3 SPAN(L=40m)	FSM 1 SPAN(L=40m) PSM 2 SPAN(L=35m)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 추가적인 승인절차 없이 설계도면대로 시공 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사비 절감 및 공기단축 효과 반영 • PSM 제작장에서 교량상부를 제작하여 증기양생으로 품질 및 시공성이 매우 우수함 • 제작 및 거처공정이 반복, 단순작업으로 안전사고 위험이 비교적 적음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 공사비가 크고, 공사가 기간이 김. • 하상에 가설구조물을 설치함으로써 시공이 곤란하고 고소작업으로 안전사고의 위험이 높음 • 외기에 노출된 상부 SLAB의 양생등 구조물의 시공 관리가 어려워 고품질 확보가 곤란함 • 공사의 계절적 제약을 받음 (6~9월 우기시 가벤티트 시공 제약) 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 농로를 우회시켜야 하므로 관할지자체 협의 필요(우회도로 공사비 추가발생) • 우회도로(제방) 부분 용지추가 매수(추가매수용지 550m²) • 구조 안전성 검토

특히, 일시 및 상시에 대해서는 교각의 하중 분담 지간장이 30m에서 35m로 증가하는 교각 P23과 P51의 검토를 중점적으로 수행하였으며, 내진 해석 시에는 교축직각방향에 대한 구속이 교량 전체에 미치는 영향을 예측하기 힘들기 때문에 교량 전체에 대한 해석을 수행하였다.

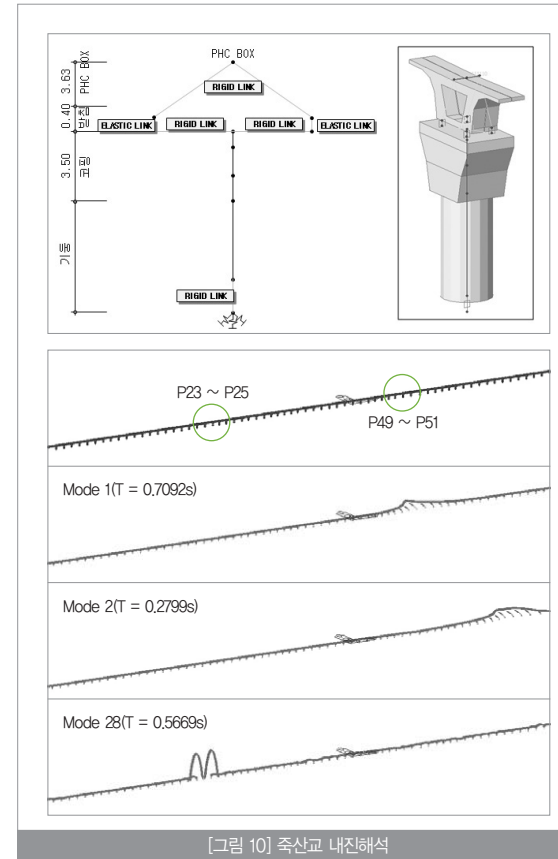
4-1. 내진해석

상부 지간장 구성의 변경으로 단면력이 가장 크게 변경되는 하중 조합의 경우는 지진 시 일 것으로 판단되었으며, 교량 전체에 대한 내진해석을 수행하여 단면력 변화를 살펴보고, 단면력이 10% 이상 증가하는 교각에 대하여 검토를 수행하였다.

해석 결과, 교각 P23, P24, P50, P51을 제외한 나머지 교각의 부재력 증가율은 5% 미만이었으며, P51에서 모멘트가 최대 15.9%, 수평력이 최대 21.22% 증가하였다.

4-2. 단면 및 기초 검토

정적하중에 대한 검토와 내진해석을 통해 발생한 부재력이 가장 크게 증가한 교각 P23, P24, P50, P51에 대해서 코핑부, 기둥부,



[그림 10] 죽산교 내진해석

기초판 등의 항목에 대해 구조 검토를 수행한 결과, 당초 30% 이상의 여유치를 확보하고 있었기 때문에 변경 후에도 안전성은 충분히 확보하는 것으로 판정되었다.

죽산교의 기초는 고강도 강관말뚝 기초가 적용되었다. 이에 대한 안정성을 검토한 결과 교각 P51에서 일시 하중 조합일 때 가장 불리하게 작용하였는데 말뚝 한 본에 작용하는 하중이 허용지지력 대비 당초 81.8%에서 변경 후 최대 83.9%로 산정되었다. 이는 교각 P51의 가동단 교좌장치 지지하고 있는 우측 거더가 30m에서 35m로 변경되어 분담 하중이 증가된 것으로 판단되었으며 말뚝기초에 대해서도 안정성을 확보하는 것을 확인할 수 있었다.

교좌장치가 지지하고 있는 지간이 40m에서 35m로 줄어드는 부분은 교좌장치의 규격을 8000kN에서 7500kN으로 변경하고, 30m에서 35m로 증가하는 부분은 6500kN에서 7500kN으로 변경 적용하였으며, 일시 및 지진시의 하중조합에 인한 작용 수평력은 적용된 교좌장치의 허용 수평력을 모두 만족하였다.

5. 맺음말

본고에서는 호남고속철도 2-4공구 현장에서 수행한 시공VE 사례에 대하여 소개하였다.

이는 전체 66경간으로 구성된 PSC 박스거더 교량에서 63경간을 PSM공법으로 시공하고 일부 3경간을 FSM공법으로 시공하도록 계획되었던 것을 FSM공법을 1경간으로 최소화하고 65경간에 대해 PSM공법이 일괄적으로 적용될 수 있도록 설계 변경한 사례이다. 이를 통해 당 과업을 수행하는데 있어서 더욱 적합하고 안전한 가설공법이 적용된 것이다. 변경 승인 후, 아직도 공사가 한창 진행 중에 있지만, 이를 통해 현장에서는 시공성과 경제성 그리고 작업 시 안전성 등의 여러 가지 개선 효과를 동시에 기대할 수 있게 되었다.

표 7 시공VE 결과

구분	효과	당초	변경
소요공기	★★★★☆	120일	6일
공사금액	★★★★☆	12억	6억
시공성	★★★★★	-	-
품질	★★★★★	-	-
안전성	★★★★☆	-	-

이러한 결실은 무엇보다도 현장 기술진의 시공법 개선을 위한 아이디어 제시와 원가절감을 위한 적극적인 VE 활동 참여가 아니었으면 불가능했을 것이라 판단된다.

계획에서 시공 및 유지관리 단계까지 VE에 대한 지속적인 관심과 목표달성에 대한 확고한 의지를 가지고 체계적이면서 적극적인 VE활동을 수행한다면, 어떤 공사일지라도 원가를 개선은 물론, 다양한 방면의 가치 향상을 추구할 수 있을 것이다. S

참고문헌

- 1 호남고속철도 제2-4공구 노반신설공사 구조계산서, 2009, 한국철도시설공단
- 2 호남고속철도 설계지침, 2007, 한국철도시설공단