

TRIZ 방법을 이용한 설계VE 리스크 대응 프로세스

문성우, 김상태*
부산대학교 사회환경시스템공학과

Risk Response Process Using TRIZ Contradiction in Value Engineering

Sungwoo Moon, Sangtae Kim*
Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

요약 건설공사는 다수의 리스크를 가지고 수행된다. 건설공사에서 발생하는 리스크는 원가, 공사기간, 안전 등 다양한 분야에서 발생된다. 건설관리자는 이러한 리스크를 사전에 분석하여 대응하는 노력이 필요하다. 즉, 건설공사 작업을 수행하기 이전에 공사비용 및 기간에 미칠 수 있는 불확실한 위협 및 기회요인을 파악하고, 이에 대한 사전 리스크 대응과 관리를 수행해야 한다. 본 논문은 터널공사 프로세스 상에서 발생하는 리스크 요인을 분류하고, TRIZ 모순충돌을 이용하여 리스크를 설계 상에서 방지하는 새로운 리스크 관리방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 논문의 목적을 달성하기 위해서 1) 터널공사 리스크-공종 분류체계 수립, 2) 리스크 요인 문제정의, 3) TRIZ 모순충돌 요인설정 및 분석, 4) 모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출, 그리고 5) 리스크 저감효과 평가 등 5단계로 진행됐다. 굴착단면 변위발생, 지보패턴 이상 등 총 4가지 리스크 인자를 바탕으로 현재 상태와 이상적 상태의 차이를 분석하고, 새로운 대안을 모색했다. 정량적 평가를 수행한 결과평가점수가 2.75에서 4.25로 성능이 향상되고, 이에 따라서 리스크가 적어짐을 보여준다.

Abstract Construction work is carried out with a number of risks arising from construction work in various fields, such as cost, construction period, and safety. Construction managers need to analyze and respond to these risks in advance. Therefore, it is necessary to identify uncertain threats and opportunity factors that may affect construction costs and duration before performing construction work and to respond to and manage risks in advance. This paper presents a theory of inventive problem solving (TRIZ), a contradiction-based risk response process that reduces construction design risks. This study was conducted in the following order: 1) collecting construction project risk data; 2) analyzing and classifying the risks; 3) statistical analysis of the risks; 4) presenting new risk management processes based on risk analysis results; and 5) evaluation of risk reduction. An analysis was conducted on the difference between the current and ideal states based on four risk factors, including displacement occurrence in excavation cross-sections and abnormal ground reaction patterns, and new alternatives were explored. The quantitative assessment revealed an improvement from 2.75 to 4.25 points, representing a risk reduction compared to the original design.

Keywords : Risk-Response, Value-Engineering, TRIZ, Contradiction, Risk-Work-Breakdown-Structure

본 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었습니다.

*Corresponding Author : Sang-Tae Kim(Pusan National University)

email: fasko27@pusan.ac.kr

Received January 4, 2024

Accepted March 8, 2024

Revised February 22, 2024

Published March 31, 2024

1. 서론

1.1 연구배경

건설사업은 유일성과 다양한 대내 환경요인으로 인하여 설계와 시공상에 내재하는 불확실성을 가지고 있다. 따라서 공사진행 과정 중 설계변경 또는 공사지연이 자주 발생할 수 있으며, 최초 계획된 즉 계약된 사업기간과 사업원가의 변동을 유발하는 경우가 빈번하다. 따라서 불확실성에 따라서 권한 및 책임을 분배할 수 있는 설계 단계에서 리스크에 대응하고 줄이는 활동이 필요하다. 예를 들어서 터널공사의 경우 공법선정의 잘못으로 인하여 하자가 발생하거나, 아니면 유관공사의 지연으로 당초 공사준공 시기를 못 맞추는 등 공사지연과 비용상승 리스크가 발생할 수 있다. 이러한 상황에서 공사지연과 비용상승 리스크를 줄이기 위해서는 설계단계부터 리스크를 사전에 분석하고 대응방안을 수립하여 설계에 반영하는 것이 필요하다. 즉, 건설공사 작업을 수행하기 이전에 발생할 수 있는 불확실한 위험 및 기회요인을 파악하고, 이에 대한 사전 리스크 대응과 관리를 수행해야 한다. 이러한 과정에서 식별된 위험요인을 회피하고, 기회요인을 강조하는 설계대안을 제시해야 한다.

1.2 연구목적 및 방법

본 논문은 터널공사 프로세스 상에서 발생하는 리스크 종류를 분류하고, TRIZ (Teoriya Reshenlya Izobreatatelsklh Zadach)의 모순충돌을 활용하여 발생할 수 있는 리스크를 설계 단계에서 예방하는 새로운 리스크 관리방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. TRIZ 모순충돌은 미지의 복잡한 문제를 이미 알고 있는 단순한 문제로 변환함으로써 요구조건 사이의 모순점에 대해 근본적인 해결책을 찾을 수 있다는 점에서 창의적인 해결방안을 모색할 수 있기 때문이다.

논문의 목적을 달성하기 위해서 1) 터널공사 리스크-공중분류체계 수립; 2) 리스크 요인 문제정의; 3) TRIZ 모순충돌 분석; 4) 모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출 등의 순서로 진행됐다. (Fig. 1)

본 논문에서 제시하는 TRIZ 모순충돌을 이용한 설계 Value Engineering (설계VE) 리스크 대응 프로세스는 설계VE에 적용되어서 TRIZ 모순충돌을 이용한 설계VE 리스크 대응 프로세스가 설계 리스크 요인개선에 도움이 된다는 것을 보여줬다.

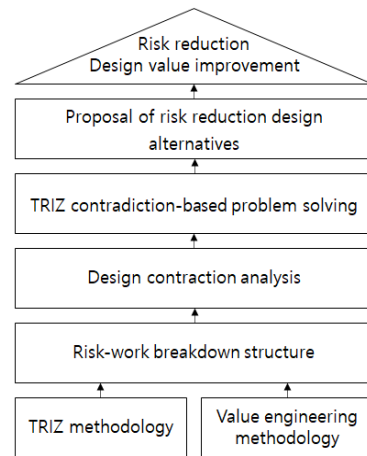


Fig. 1. Research procedure

2. 설계VE 방법론과 가치(성능)향상

2.1 설계VE 프로세스와 가치향상

일반적으로 설계VE는 설계VE 워크샵을 통해서 기존 설계안의 성능을 개선하기 위한 설계대안을 찾는 방법으로 진행된다. 원가절감과 성능개선 등 설계VE가 제공하는 순기능에 따라 국토교통부는 국내 건설산업의 기술발전과 공공공사 원가절감을 위해 적극적으로 지원하고 있으며, 설계VE 방법론의 원활한 시행을 위해 설계VE 프로세스를 정의하고 설계VE (경제성 분석)의 제반사항에 대한 가이드라인을 제시하고 있다.

설계VE 방법론은 미국 SAVE International [1]가 선도적으로 개발한 설계VE 방법론을 바탕으로 적용되고 있다. 미국 주 교통국 [2]은 각 주의 특성에 맞춰서 각 주별로 설계VE 방법론을 수립하여 적용하고 있다.

국내의 경우 국토교통부 [3]에서는 공공공사에 대한 가이드라인으로 설계VE 방법론을 적용하여 정보수집, 기능분석, 아이디어 창출 그리고 제안서 작성 등 설계VE 절차를 제시하고 있다. 국토교통부의 가이드라인을 바탕으로 한국도로공사 [4]등 공공기관과 지방자치단체에서도 자체적인 설계VE 방법론을 수립하여 적용하고 있다. 이러한 설계VE 방법론은 설계VE 추진시 수행해야 하는 설계 각 단계별 프로세스와 방법을 제시하고, 체계적인 설계VE 활동을 수행할 수 있도록 지원한다.

국토교통부의 설계VE 가이드라인은 공공공사 수행시 적용하는 설계VE 수행에서 체계적인 절차를 제공하는 효과를 가진다. 국토교통부 설계VE 가이드라인은 1) 준

비단계, 2) 분석단계, 3) 실행단계 등 3단계로 구성되며, 이러한 과정에서 정보수집, 기능분석, 아이디어 창출 그리고 제안서 작성 등의 설계VE 활동이 진행된다. 설계VE 가이드라인은 설계VE 각 과정에서 사용하는 양식을 제공하고 있으며, 설계VE 워크샵에 참여하는 발주자, 설계자, 시공사, 설계VE 수행자 등이 가져야 할 공통된 목표를 제공하고, 체계적인 설계VE 활동을 하는 역할을 한다.

그러나 국토교통부의 설계VE 가이드라인은 일반적인 설계VE 활동체계를 제시할 뿐이며, 설계VE에서 검토해야 할 리스크 저감을 위한 활동단계를 지원하지 않는다. 설계VE가 발전함에 따라서 지속적인 설계개선의 요구가 커지고 있다는 점을 고려했을 때 설계VE 방법론이 꾸준히 개선되어야 한다는 필요성이 크다. 설계VE 활동과정에서 설계의 리스크를 줄이기 위해서는 본 연구에서 목표로 하는 바와 같이 추가적으로 설계VE 방법론의 기능을 개선하고 발전시켜야 할 필요가 있다.

2.2 리스크와 설계VE 성능향상

리스크란 설계가 가지고 있는 불확실성과 이러한 불확실성으로 발생할 손실의 정도를 의미한다. 설계VE는 이러한 불확실성의 특성에 따라 리스크를 사전에 명확히 식별하여 아이디어 창출에 적용해야 한다. 건설업은 타 업종에 비하여 정보 비대칭을 가지고 있어서 구조물 붕괴 등 시공상의 문제가 발생할 우려가 크며, 건설공사 수행시 다수의 공정이 동시에 진행되므로 리스크의 발생이 커다란 시공실패로 나타난다.

따라서 건설사업이 가지고 있는 안전, 품질, 공기 등 리스크 요인에 대한 관리의 필요성이 커지고 있으며 [5], 리스크 관리는 국내외 건설공사 프로젝트 관리에 있어서 중요한 역할을 한다 [6]. 이러한 우려에 따라서 건설공사에서 리스크 관리의 중요성이 커지고 있으며, 임종권과 이민재 [7]는 건설 프로젝트의 설계 및 시공단계에서 리스크 관리의 중요성을 강조한 바 있다. 또한 안상현 [8]은 건설사업의 리스크를 체계적으로 관리하기 위해서 리스크 식별방법을 연구했다.

건설공사에서 리스크 관리의 중요성에 따라서 설계VE 과정에서 설계의 리스크를 줄이기 위한 연구가 시도되었다. 박진호 외 [9]은 설계VE 과정에 리스크 평가절차를 도입했다. 연구자들은 설계VE 과정에서 설계대안에 대해서 개략평가와 상세평가가 실시되지만 리스크에 대한 평가가 이뤄지지 않는 점을 지적했다. 본 연구자들은 설계VE를 효과적으로 하기 위해서는 설계대안에 대해서 리스크를 평가해야 한다고 주장했다.

본 연구과정에서 조사한 결과, 기존 연구에서는 설계와 시공과정에서 리스크 관리의 중요성에 대한 연구는 많이 진행되어 왔지만 설계VE에서 리스크를 설계안이 가지는 성능으로 고려하고, 리스크를 줄이기 위한 시도는 많이 시도되고 있지 않다는 것을 확인됐다.

2.3 TRIZ 모순충돌과 설계VE

TRIZ는 창조적 아이디어 창출활동 방법론으로서 새로운 대안을 찾기 위해서 많이 적용되고 있다. Al'tshuller [10]는 TRIZ의 창시자이다. Al'tshuller는 특허와 같이 창의적인 아이디어 창출활동은 반복적으로 발생하는 한다는 점에 착안하여 이러한 특징을 새로운 아이디어 창출에 적용할 수 있다고 주장했다.

이러한 관점에서 기존 특허를 분석한 결과 Al'tshuller는 특허에서 나타나는 특징을 바탕으로 42가지 트리즈 발명원리를 찾아서 제시했다. 42가지 발명원리는 트리즈가 가지는 특징으로써 아이디어 창출활동에 활용된다. 이러한 발명원리는 아이디어 창출활동에 적용할 수 있으며, 체계적인 절차에 따라서 문제해결을 위한 새로운 대안을 찾을 수 있도록 돕는다.

Al'tshuller는 특히 모순충돌을 극복하는 대안을 제시하는 과정에서 창조적인 아이디어가 나타난다고 주장했다. Al'tshuller는 모순충돌 테이블을 제시하고, 모순충돌 테이블을 바탕으로 모순충돌을 통한 문제해결원리를 제시했다. 이러한 모순충돌은 문제영역에 내포하는 모순요소를 사용하여 나타낼 수 있으며, 모순간 상호충돌하는 현상을 이해하여 기존안과 대비하여 새로운 대안을 찾을 수 있도록 지원한다.

TRIZ는 모순충돌을 문제해결을 위한 하나의 기본원리로 적용한다. 여기서 모순충돌은 하나의 기능이 문제영역에서 나타나는 상호충돌 요인을 의미한다. 예를 들어서 하나의 기능의 안정성이 과도하게 높아지면 반면 경제성을 떨어진다. 반대로 하나의 기능의 경제성이 올라가면 안정성이 과도하게 낮아질 수 있다. 이와 같이 제품개발에서 가치를 향상시키기 위해서는 상호 반대로 작동하는 모순충돌이라는 문제를 해결할 수 있는 창의적인 아이디어를 제시해야 한다.

Al'tshuller가 제시한 TRIZ 방법론은 설계VE에서 아이디어 창출을 위한 중요한 단계로 적용될 수 있다. 특히 모순충돌 요인은 설계안이 가지고 있는 리스크 분석에 사용되며, 리스크를 줄이기 위한 설계대안 창출에 활용된다.

본 연구는 TRIZ 모순충돌을 설계VE에 적용하여 리스크를 줄이기 위해서 설계대상이 내포하는 리스크 문제영역을 분석하고 모순충돌을 확인하며, 모순충돌을 해결하는 과정에서 문제해결 원리를 활용하여 새로운 설계대안을 제시한다.

2.4 모순충돌해결 및 리스크 설계VE 프로세스

본 연구에서 TRIZ 모순충돌 기반 리스크 설계VE는 1) 리스크-공중 분류체계 수립; 2)리스크 요인에 대한 문제정의; 3)TRIZ 모순충돌 요인설정 및 분석; 4)모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출 그리고 5) 리스크 저감효과 평가 등 5단계로 구성됐다.

1) 리스크-공중 분류체계 수립

리스크-공중 분류체계는 설계상의 리스크 인자를 파악하고, 리스크 발생 시공상 공중항목과의 연관성을 나타내는 연계도이다. 리스크-공중분류체계는 시각적으로 리스크와 공중의 연관관계를 보여줌으로서 설계과정에서 사전 리스크를 고려한 설계대안을 찾을 수 있도록 한다.

2) 리스크 요인에 대한 문제정의

리스크 요인에 대한 문제정의는 TRIZ 모순충돌 분석 과정에서 설계상에 내재되어 있는 리스크 문제를 정의한다. 문제정의 과정에서 도출된 모순충돌은 기존 설계안에 대한 개선방향을 제시한다.

3) TRIZ 모순충돌 요인설정 및 분석

트리즈 모순충돌 요인설정은 모순충돌이 일어날 수 있는 인자를 특정 시공 프로세스에 맞도록 수정하고, 설계상에서 모순충돌 가능성을 검토하는 과정이다. 모순충돌 분석과정에서 좋아하는 점과 나빠지는 점을 비교 검토함으로써 새로운 설계대안 창출이라는 문제해결 방안을 찾도록 돕는다. 이후 기존 설계안이 가지고 있는 문제를 TRIZ 모순충돌 관점에서 분석하여 좋아하는 점과 나빠지는 점을 분석함으로써 기존 설계안의 문제를 해결하는 방법을 제공한다.

4) 모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출

모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출은 리스크 문제정의에서 나타난 문제점을 분석하여 모순충돌을 최소화하기 위한 새로운 설계대안을 제시한다. 설계VE 대상기능에 따라서 발생하는 모순충돌을 다루게 되며 모순충돌을

해결함으로써 새로운 아이디어를 설계대안으로 제시한다. 즉, 좋아지는 점과 나빠지는 점을 조정하여 모순충돌을 해결하는 과정에서 기존 설계안을 대체할 수 있는 새로운 설계대안을 찾는 기능을 한다.

5) 리스크 저감효과 평가

리스크 저감효과 평가는 기존 설계안과 새롭게 제시된 설계대안을 비교 검토하여 리스크가 감소된 정도를 정량화하여 평가하는 기능을 한다. 리스크 평가는 앞서 도출된 리스크 인자를 평가항목으로 사용하며, 매트릭스 평가를 통하여 상호 비교·평가된다.

3. TRIZ 기반 설계VE 리스크 저감 사례분석

3.1 사례분석 대상선정

본 연구의 효과를 확인하기 위해서 건설사업 리스크 분석 방법론을 설계VE 워크샵을 실시하여 리스크 분석 방법론의 타당성을 검증했다. 시범적으로 적용된 리스크 설계VE 워크샵은 설계기능에 내재하는 모순충돌을 찾아서 설계가 가지고 있는 리스크를 저감 시키기 위한 새로운 설계대안을 찾는 것이다.

리스크 분석 방법론을 적용하면 체계적인 아이디어 창출활동이 가능하기 때문에 효과적인 아이디어 창출활동을 수행했으며, 이러한 활동을 통하여 리스크 분석 방법론을 타당성을 검증했다. 설계VE 워크샵에는 구조, 토질, 시공 등 각 분야별 전문가를 참여시켜서 리스크 분석과 결과도출, 그리고 대응방안을 제시하기 위한 아이디어 창출활동을 실시했다.

워크샵에 참석하는 각 분야별 전문가는 준비된 리스크 분석 방법론에 따라서 아이디어 창출활동을 실시하며, 아이디어 창출활동을 통해서 리스크 인자를 찾아내고, 리스크 인자에 대한 중요도를 분석하며, 리스크 대응방안을 제시하게 했다.

본 연구의 사례분석을 위해서 터널공사에 적용하는 공법을 리스크 설계VE 대상으로 선정했다. Fig. 2는 터널공사 단면과 지보공에 대한 설계도면을 보여준다. 첫째 이미지는 터널단면의 라이닝 두께를 보여준다. 둘째 이미지는 강제 거푸집 구성을 보여준다. 셋째 이미지는 터널단면 철근길이를 보여준다. 넷째 이미지는 락볼트 시공계획을 보여준다.

3.2 리스크-공종 분류체계

리스크 인자는 프로젝트 외부요인 뿐만 아니라 내부요인 더하여 세부공종과도 연계되는 중복성을 가질 수 있다는 특징이 있으므로, 이를 최대한 배제하여 리스크인자를 식별하고 관리하는 것은 매우 중요하다. 이러한 모순충돌 가능성을 제거하기 위한 근본적인 해결책으로는 공사단위나 단계별로 리스크 요소나 범위가 정의되어야 하며, 이렇게 설정된 범위를 바탕으로 리스크 분류체계 (Risk-Work Breakdown Structure, RBS)를 구축하는 것이다. 즉, RBS를 설정하는 목적은 1) 설계상에 내재하는 다양한 리스크 인자들을 찾은 후 리스크 인자들이 가지는 상호 연관성을 파악하여 리스크의 특성을 분석하고, 2) 리스크 특성에 따라서 리스크 인자 간 모순충돌을 이해하며, 3) 리스크 인자 간 모순충돌을 최소화하기 위해서 필요한 효율적인 대응방안을 설계상에 반영하기 위한 것이다.

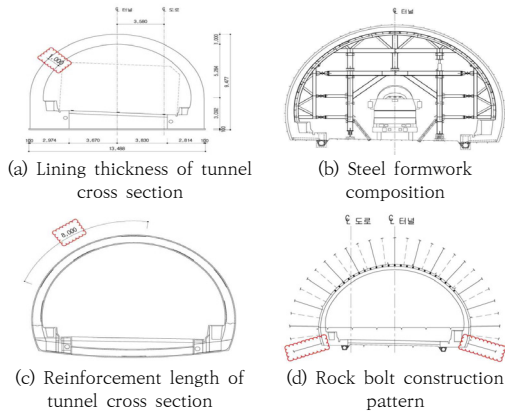


Fig. 2. Original design

이와 같이 RBS는 여러 리스크 인자들의 상호관련성을 체계적으로 보여주고, 이러한 활동을 통해서 리스크의

상황, 특성, 성격에 따라서 상호작용하는 리스크 인자 간 모순충돌을 보여준다. 이러한 정보는 설계VE에서 설계대안을 창출할 때 리스크 인자 간 모순충돌이 발생하지 않는 범위에서 식별하고, 결과적으로 효율적으로 리스크 대응방안을 설정하는데 도움이 된다.

리스크 인자를 건설시공 과정에서 효과적으로 활용하기 위해서는 리스크 인자가 어느 시공단계에서 발생하는가를 시공전에 분석되어야 한다. 본 연구에서 제시하는 리스크-공종 분류체계는 이러한 필요성에 따라서 구성됐다. 본 연구에서 제시하는 리스크-공종 분류체계는 터널 공사에 맞도록 구성됐다. (Table 1) 예를 들어서, 굴착단면 변위발생 (Tunnel section distortion)은 터널단면 붕괴와 같이 커다란 손실을 가져오는 리스크 요인이며, 지보설치 (Steel rib installation)와 콘크리트 라이닝 (Concrete lining)과 연관되어 있다는 것을 나타낸다. 다른 예를 들면, 지보패턴 이상 (Steel rib failure)은 지보설치 (Steel rib installation)와 연관되어 있다. 또한 여굴발생 (Tunnel section overbreak)은 막장면 슛크리트 타설 (Shotcreting)과 콘크리트 라이닝 (Concrete lining)과 연관되어 있다는 것을 보여준다.

3.3 리스크 요인 문제정의

리스크 요인 문제정의는 터널공사 지보공 시공과정에서 발생하는 문제를 정의하기 위해서 진행된다. 기존 설계안에 대한 문제정의는 설계VE 대상 설계안의 문제점을 리스크 요인 관점에서 분석하는 단계이다. 리스크 요인에 대한 문제정의는 기존 설계안이 가지고 있는 문제를 정의함으로써 TRIZ 모순충돌이 어떻게 발생하는가에 대한 사전정보를 제공한다. 이렇게 정의되는 문제는 향후 새로운 설계대안을 창출하는 기본정보로 활용되어서 문제해결원리를 적용하여 설계기능을 향상시킨다.

Table 1. Risk-work breakdown relation

Work breakdown		Risk breakdown				
Level 1	Level 2	Tunnel section displacement	Steel rib failure	Geological parameter estimation error	Under ground water penetration	Tunnel section overbreak
Steel rib	Shotcreting					√
	Steel rib installation	√	√			
	Rock bolt boring			√		
	Rock bolt injection			√		
Concrete structure	Concrete lining	√				√
	Water prevention grouting				√	
	Multi-stage steel pipe grouting			√		

Table 2. TRIZ problem definition and contradiction

No.	Risk factor	Contradiction	TRIZ contradiction	Risk description
1	Tunnel section distortion	Good point	Constructability	·Make installation work easier
		Bad point	Area	·Distort cross-section area
2	Steel rib failure	Good point	Shape	·Change cross-section shape
		Bad point	Productivity	·Make installation work simpler
3	Geological parameter estimation error	Good point	Stability	·Make uneven loading
		Bad point	Productivity	·Improves efficiency
			Reliability	·Reduces structural reliability
4	Tunnel section overbreak	Good point	-	-
		Bad point	Durability	·Reduces structural resistency

본 리스크 설계VE 사례분석에서는 1) 굴착단면 변위 발생, 2) 지보패턴 이상, 3) 지질학적 패러미터 오류, 4) 지하수 발생 그리고 5) 여굴발생 등 모두 5개의 기존 설계안에 대한 리스크 요인이 검토되었다.

각 리스크 요인을 설명하면, 첫째, 굴착단면 변위발생은 굴착단면이 일정하지 않아서 지보가 적절하게 터널단면을 지지하지 못하고, 콘크리트 량이 증가하는 문제점을 가진다. 둘째, 지보패턴 이상은 지보패턴이 일정하지 않으므로 지보제작 생산성이 저하되는 문제점을 가진다. 셋째, 지질학적 패러미터 오류는 패러미터 값 오류로 설계상의 락볼트와 강관다단의 성능을 확보할 수 없다는 문제점을 가진다. 넷째, 지하수 발생은 지하수 발생으로 시공품질이 저하되고, 유지관리 비용이 높아진다는 문제점을 가진다. 다섯째, 여굴발생은 여굴이 발생하여 추가적인 시멘트 주입작업을 해야 하므로 추가비용이 발생한다는 문제점을 가진다.

3.4 TRIZ 모순충돌 요인설정 및 분석

모순충돌 분석단계는 '1) 기존 설계안에 대한 문제점의'에서 찾은 문제점을 해결하는 과정이다. 본 분석단계에서는 TRIZ 모순충돌을 적용하여 설계가능이 가지는 문제점을 찾고, 찾은 문제점을 제거하기 위한 하나의 과정으로 설계 기능상의 모순충돌을 찾는다. 결과적으로 모순충돌을 해결함으로써 기존 설계원안을 대체하는 신규 설계안을 제시한다.

본 모순충돌 분석과정은 기존 설계안에서 제시된 5개의 문제점을 해결하기 위해서 기존 설계원안이 가지고 있는 TRIZ 모순충돌 요인을 분석했다.

Table 2는 기존 설계원안이 가지고 있는 리스크 요인과 각 리스크 요인이 가지는 좋아지는 요인과 나빠지는 요인을 보여준다. 예를 들어서 '굴착단면 변위발생'에서

는 좋아지는 요인으로 Constructability가 있으며, 작업이 용이하여 시공성 향상된다는 것을 의미한다. 나빠지는 요인으로서 Area와 Shape가 있으며, 굴착단면에 변위가 발생한다는 것을 의미한다.

다른 예를 들면, 지보패턴 이상에서는 좋아지는 요인으로 Productivity가 있으며, 작업이 용이하여 시공성 향상된다는 것을 의미한다. 나빠지는 요인으로서 Stability가 있으며, 응력분포가 일정하지 않아서 구조 안정성에서 문제가 발생한다는 것을 의미한다.

3.5 모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출

모순충돌 해결을 위한 설계대안 창출은 TRIZ 모순충돌을 해결하는 설계대안을 찾는 과정이며, 기존 설계안을 대체하여 모순충돌을 해결하는 새로운 아이디어를 제시한다.

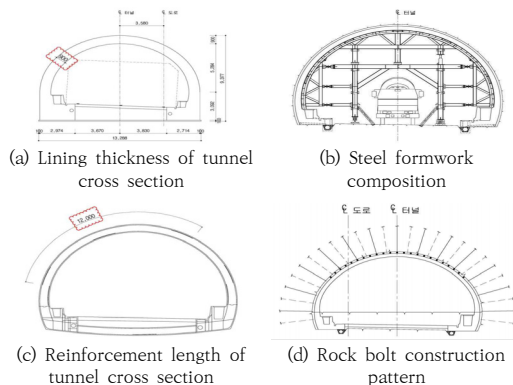


Fig. 3. New design alternative

Table 3은 기존 설계안에 대비 개선 설계대안을 보여준다. 표에 있는 관련공종은 Table 1의 리스크-공종 분류체계가 보여 주는 바와 같이 Table 2에 있는 리스크

Table 3. Original designs vs. new design alternatives

Work breakdown	Original design	Risk description	New design alternative
Steel rib installation	The standard length of steel reinforcement is 8m	The steel reinforcement is too short in length causing unnecessary repetition of work	The steel length is increased to 12m to remove unnecessary steel joint
	Rock bolting is planned on the lower part of tunnel section	These rock bolting is structurally unnecessary causing time and cost	The lower part rock bolting is cancelled to reduce unnecessary time and cost
Concrete lining	The concrete lining in the entrance part is too thick (1,000mm)	This over design does not affect the structural safety of the tunnel section	The concrete lining is reduce to 900m to save time and cost while maintaining structural safety
	The steel formwork is planned to be built at the construction site	This site fabrication lowers constructability	Pre-fabricated steel formworks are planned to replace site-fabricated ones
Finish surface shotcreting	A fixed amount of AE admixture is planned to be used for all the surface shotcreting	The site condition needs to be constantly monitored to know the right amount	A flexible amount of AE admixture is planned to be used during the tunnel construction

요인과 관련한 공종을 기준으로 정리됐다. 이는 기존 설계안과 개선 설계대안을 보여주며, TRIZ 모순충돌 해결로 리스크가 적어진다는 것을 기술하고 있다. 즉, 리스크를 증가시키거나 저감시키는 모순충돌 요인을 찾아서 해결함으로써 리스크를 고려한 최적의 설계대안을 찾는 것을 목표로 한다. Fig. 3은 모순충돌을 최소화하는 대안을 창출한 결과를 보여준다. 따라서 최종 개선 설계대안은 (1) 개착구간 라이닝 두께를 최적화하고, (2) 최적화된 강재 거푸집 단면을 적용하며, (3) 철근길이를 증가시켜서 이음개소를 줄이고, (4) 락볼트 수량을 줄이는 것을 포함한다.

3.6 리스크 저감효과 평가

Table 4는 리스크 관점에서 기존 설계안과 신규 설계대안의 성능을 비교하기 위해서 수행된 매트릭스 평가표를 보여준다. 매트릭스 평가는 설계VE에서 사용하고 있

는 상대비교를 바탕으로 한 평가방법으로서 리스크 개선 정도를 나타낸다.

본 매트릭스 평가에는 3가지 리스크 요인인 1) 굴착 단면 변위발생 (Tunnel section displacement), 2) 지보패턴 이상 (Steel rib failure), 그리고 3) 여굴발생 (Tunnel section overbreak)을 평가항목으로 적용했다. 지질학적 패러미터 오류 (Geological parameter estimation error)는 강관단면에 한정된 것이라고 판단하여 본 사례연구 매트릭스 평가에서는 적용하지 않았다.

매트릭스 평가결과는 기존 설계안과 신규 설계대안을 비교하여 신규 설계대안의 리스크가 적어진다는 것을 보여줬다. 즉, 기존 설계안은 평가점수가 2.75이고, 신규 설계대안은 평가점수가 4.25이어서 신규 설계대안의 성능이 향상되고, 이에 따라서 리스크가 적어짐을 정량적 평가점수로 보여준다.

Table 4. Matrix evaluation

Criteria	A	B	C	Remarks	
A. Tunnel section displacement		A2	C2	Pair evaluation: 4: very very important 3: Very important 2: Moderately important 1: Slightly important 0: Equal	
B. Steel rib failure			B4		
C. Tunnel section overbreak					
Weight	0.25	0.50	0.25	Sum	Selection
Original design	2 0.50	3 1.50	3 0.75	2.75	
New design	4 1.00	5 2.50	3 0.75	4.25	○

Selection score: 5-Very good; 4-Good; 3-Moderate; 2-Bad; 1-Very bad

4. 결론

본 연구는 터널공사 프로세스 상에서 발생하는 리스크 종류를 분류하고, TRIZ 모순충돌을 이용하여 리스크를 설계 상에서 방지하는 새로운 리스크 관리방법을 제시했다. TRIZ 모순충돌 요인은 하나의 설계기능을 적용할 때 좋아지는 점과 나빠지는 점을 고려한 후 이를 개선하는 과정에서 설계기능을 향상시킨다는 의미를 가진다.

본 연구에서 수행한 사례분석에서는 기존 설계안에 대한 설계대안을 제시하고, 기존 설계안과 개선 설계대안을 비교했다. 사례분석의 결과는 설계VE에서 TRIZ 모순충돌 요인을 적용하면 모순충돌의 갈등을 해소시킴으로써 설계VE 수행시 설계기능을 향상시키고, 설계기능에 내재하는 리스크를 제거할 수 있다는 것을 보여줬다.

본 연구의 사례분석에서는 터널공사 시공단면을 중심으로 분석됐지만 이러한 접근방법은 건설공사의 기타 분야에도 적용이 가능할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서 제안한 리스크 공중 분류체계에 따른 설계대안의 경우 미래에 발생할 수 있는 불확실성이 내포되어 있으므로 향후 연구에서는 발생할 수 있는 리스크 인자로 인한 모순충돌 발생 가능성 및 영향력을 평가하는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이러한 연구는 리스크 모순충돌로 인한 손실수준, 우선순위, 해결비용 등을 정량적으로 제시함으로써 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] SAVE International, Value Standard and Body of Knowledge, Dayton, OH, USA, 2007. [Internet], Available From: https://www.pinnacleresults.com/images/VE_Standard_from_SAVE.pdf
- [2] CALTRAN, Value Analysis Team Guide. 3rd ed., California Department of Transportation, Division of Design Office of Special Projects, 2003. [Internet], Available From: <https://dot.ca.gov/programs/design/value-analysis>
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Design Value Engineering Process Manual, Team of Construction and Environment, 2006. [Internet], Available From: <https://www.codil.or.kr/viewDtlConRpt.do?gubun=rpt&pMetaCode=OTMCTC090018>
- [4] I. Heo, Y. G. Lee, B. C. Jeong, J. G. Yang, "A Hi-Value Process Establishment for Efficient Implement of Design Value Engineering in Highway", *Korea Institute of Construction Engineering and Management Journal*, Vol. 12, No. 6, pp. 36-48, 2011.
- [5] H. M. Kim, "Introduction to Risk Management with Samsung Construction Co.", *Korea Institute of*

Construction Engineering and Management Journal, vol. 10, no. 4, pp. 21-23, 2009.

- [6] D. Y. Kim, S. H. Han, W. Y. Jung, "Risk Management for International Construction Projects: A New Paradigm", *Korea Institute of Construction Engineering and Management Proceedings*, pp. 51-53, 2011.
- [7] J. K. Im, M. J. Lee, "Risk Management for Design and Construction", *Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 2015.
- [8] S. H. Ahn, "A Case Study of the Risk Identification in Construction Project", *Korea Institute of Construction Engineering and Management Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 15-24, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2015.16.1.015>
- [9] J. H. Park, J. H. Kim, C. T. Hyeon, H. J. Kim, S. H. Kwon, "Improvement of a VE Alternative Ideas Evaluation Method through Risk Evaluation Process", *Korea Institute of Construction Engineering and Management Journal*, vol. 9, no. 5, pp. 32-43, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2018.19.5.032>
- [10] G. S. Altshuller (1998). "40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation(translated by Lev Shulyak)". Technical Innovation Center, Worcester MA, 1998.

문 성 우(Sung-Woo Moon)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 뉴욕주립대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 노스캐롤라이나 주립대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2003년 10월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>

건설관리, 시공계획, 스마트 시공, BIM, 건설기계, 건설VE

김 상 태(Sang-Tae Kim)

[정회원]



- 2015년 8월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (박사과정)

<관심분야>

건설사업관리, 건설VE, 건설리스크관리, 공사비관리