

기술트리를 이용한 입체트러스 강구조물의 과학적 기능분석 방법론에 관한 연구

이 동 규^{1)*} · 김도환²⁾ · 김진호³⁾

¹⁾ 조교수, 세종대학교, 건축공학과 ²⁾ 책임연구원, (재)포항산업과학연구원, 강구조연구소 ³⁾ 본부장, (재)포항산업과학연구원, 강구조연구소

Study on the Scientific Functional Investigation of Steel Space Truss Structures by using Technology Tree Methodology

Lee, Dong Kyu^{1)*} Kim, Do Hwan²⁾ Kim, Jin Ho³⁾

¹⁾ Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul, 143-747, Korea

²⁾ Senior Researcher, Steel Structures Research Division, Research Institute of Industrial Science and Technology, Incheon, 136-702, Korea

³⁾ Department Leader, Steel Structures Research Division, Research Institute of Industrial Science and Technology, Incheon, 136-702, Korea

ABSTRACT : This study presents a practice of a scientific methodology, i.e., technology tree to describe hierarchies of functions and technologies of research projects. In this study functional developments of a well-known steel space frame truss are dealt with for an application of the technology tree process to execute the maintenance of road tunnels without blocking vehicles. It is verified that established results of technology tree process can be linked to a proof process of revealed functions and component technologies such as reference works and structural analyses. In the future the technology tree methodology can be extendedly used for an effective tool setting up research plans and developing integrated technologies of a specific item such as a steel structure.

KEYWORDS : technology tree, space truss structure, function, steel structure, proof process, structural analyses

1. 서론

기술은 역사적으로 인간이 편할 수 있도록 인간이 필요로 하는 목적을 달성시킬 수 있는 수단 또는 도구로서 진화 발전해왔다. 기술의 진화와 발전은 존재하지 않았던 새로운 것을 발견하는 것과 다른 분야의 한 기술을 도입하거나 몇 가지 기술들을 융합하여 기존의 것을 개선하는 것⁽¹⁾을 포함한

다. 발견과 개선은 독립적인 요소가 아니라 인과관계와 같이 하나의 상호보완적인 관계를 형성한다. 즉, 새로운 것의 발견은 불완전한 요소이며, 따라서 최종적으로는 개선의 절차를 밟게 된다. 여기에서 불완전한 요소를 판단하는 기준은 현재의 상태와 기대치 사이의 차이이다. 차이가 클수록 기술의 개선이 더욱 요구된다고 할 수 있다. 차이의 극복은 개선을 통해 이루어진다고 하지만, 일차적으로 현재 상태와 기대 상태를 명확하게 정의해야 한다. 이차적으로는 현재와 기대의 차이를 줄이거나 없앨 수 있도록 개선이 이루어질 수 있는 근본적인 아이디어를 찾아야 한다.

최근에 창의적인 아이디어를 도출하는 사고 방법론으로서 트리즈(TRIZ)^{(2),(3),(4)}를 공학 분야의 기술개발이나 비즈니스 분야의 경영기법 개발 등에 대기업을 중심으로 다수 활용되고 있다. 트리즈는 Fig. 1과 같은 개별 기술시스템을 대상으

Note.-Discussion open until February 28, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on January 25, 2012; revised October 16, 2012; approved on December 13, 2012.
© KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-2-3408-4035 Fax. +82-2-3408-4331
E-mail: dongkyulee@sejong.ac.kr

로 창의적 아이디어를 도출할 수 있는 사고의 프로세스를 제공하기 때문에 전체 기술시스템을 완성하기 위해서는 각 개별 기술에 대해 트리즈 기법을 적용해야 한다. Fig. 1의 영역은 기술시스템에서 필요한 기능의 양을 나타내며, 공통기능이 발생하거나 또는 독립적인 기능으로 구분될 수 있다. 즉, 기능이 존재하는 것은 기술로 정의될 수 있다. 여기서 기술시스템은 기술을 완성시키는 도구(tool), 도구로 인해 변화되는 대상(object), 대상이 도구로 인해 변화된 양상인 행동(action)으로 구성되며, 현재와 기대상태의 차이는 소위 기능으로 말할 수 있으며, 차이가 없으면 문제를 해결하는 것이 되고, 동시에 기능을 충족하여 기술의 완성이 이루어 졌음을 의미한다.

따라서 기능을 올바르게 분석하는 것은 기술을 발견하고 개선하기 위한 사전준비 단계로 볼 수 있다. 명확한 기능분석은 트리즈를 통한 창의적 아이디어 문제해결을 하는데 데이터베이스가 될 수 있다는 점에서 매우 중요하다.

본 연구에서는 기술개발의 전략적 방향성을 제시할 수 있는 기술의 기능분석 방법 중에 하나인 기술트리^{(5),(6)} - 기술트리는 사업전략전개의 핵심인 핵심기술을 도출하고 이를 원리에 근거한 기능전개의 로직을 바탕으로 기술을 전개함으로써 시장의 기대에 부응하고 경쟁기술에 대해서는 우위를 확보할 수 있는 프레임을 제공한다 - 를 강구조 기술의 효율적인 기능전개 및 세부 기술 도출에 적용하는 사례를 제시하고자 한다.

기술트리 활용을 위한 제반요인을 기술개발을 위한 기술정보 역량 측면에서 고찰한 본 연구는 기술트리 결과물이 실제 창의적인 아이디어 사고를 위한 프로세스인 트리즈로 연계하는 데에 큰 함의를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

그 대상은 강구조분야에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 입체 트러스 구조물이며, 행동은 기존의 구조 방식인 고정되어 하중을 지지하는 개념과 차별화하여 이동 및 가변적인 구조물이 되는 추가적인 동적 기능이 가능하도록 하였으며, 이렇게 정의된 대상과 행동, 그리고 이것을 달성하는 도구의 요소로 구성되는 기술시스템을 핵심기술로 선정하였다.

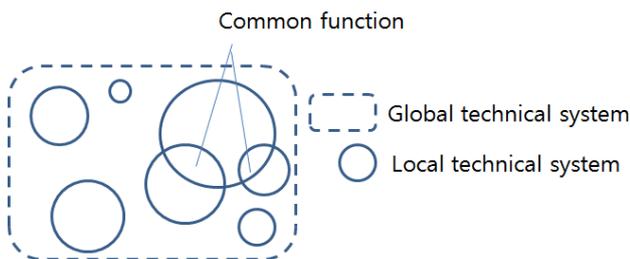


Fig. 1 Global and local technical function systems

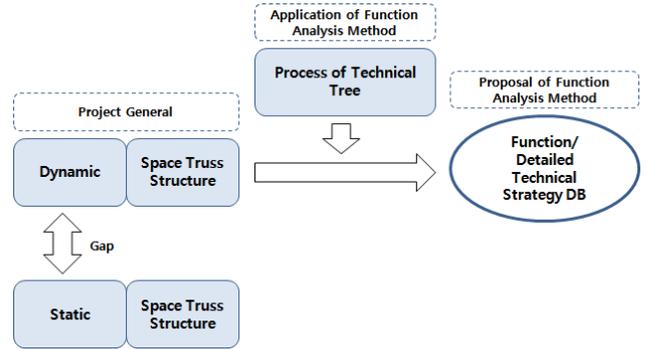


Fig. 2 Research processes by using technology tree

Fig. 2는 기능분석과 세부 기술의 도출 및 전략마련을 위한 기술트리 방법론을 제안하고자, 대상 프로젝트이자 핵심기술인 입체 트러스 구조물에 대한 사례 연구 진행 절차이며, 여기서 Dynamic과 Static은 이동 및 가변형의 동적인 기능이 있는 핵심 기술과 하중을 지지하고 정지되어 있는 정적 구조물 즉 기존 기술을 각각 말한다.

2. 대상 프로젝트 개요

2.1 정적인 입체 트러스 구조시스템

교량이나 지붕처럼 넓은 공간을 형성하는 소위 대공간 트러스 구조물^{(7),(8)}의 형식으로서 아치, 현수 및 보 형식이 일반적으로 사용되고 있다. 보 형식에서는 하중이 작용하면 보의 윗부분은 압축되고 아랫부분은 서로 당겨서 인장력이 발생하여 보가 휘게 된다. 이때 보를 구부리는 힘은 상단부와 하단부가 가장 크고 중간부는 작다. 즉, 보의 중간에는 아직 여력이 있다. 그래서 보 중간부를 형성하는 부재 재료를 제거하는 것이 경제적이다. 또 보에 기둥을 세우고 보를 보강해서 커다란 공간으로 사용할 수 있다. 이와 같이 보를 보강하거나 재료를 절감해서 낭비를 없애려는 것이 트러스의 시초이다.

일반적으로 입체 트러스는 Fig. 3과 같이 보와 기둥으로 구성된다.

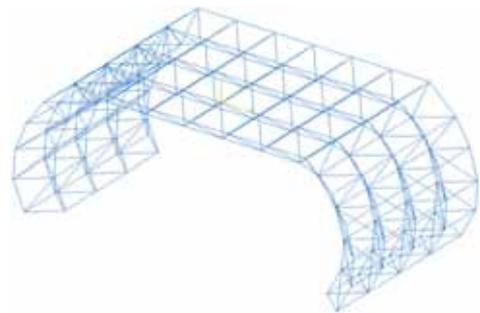


Fig. 3 Typical static space truss structure

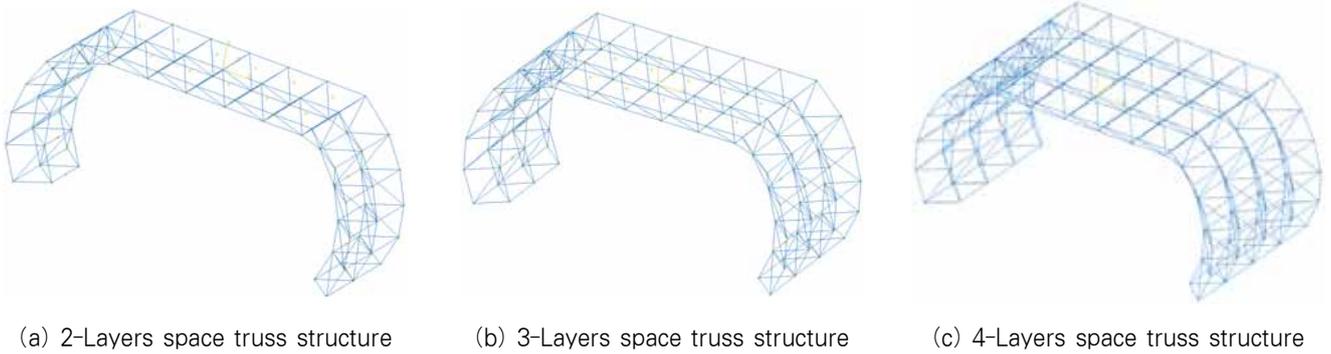


Fig. 4 Dynamic space truss structure with flexible member length

일직선의 봉을 조합해서 만든 삼각형은 안정된 형태이지만, 사각형은 비틀어지거나 변형하기 쉬우므로 보의 중간을 도려내어 생긴 형태인 삼각형을 사용한다. 즉, 트러스란 곧은 강재나 목재를 삼각형을 기본 형태로 연속적인 그물 모양으로 구성하여 하중을 지지하는 구조방식으로서, 부재의 절점은 사람의 관절처럼 자유롭게 회전할 수 있고, 또 하중도 절점에 작용하도록 제작되어 있어 트러스 부재는 인장력과 압축력만 작용하며, 휘는 경우는 없으므로 재료의 낭비가 적다. 또 짧은 봉을 조합해서 경간이 큰 대공간을 걸치는 장점도 있어, 트러스는 현존하는 가장 경제적인 구조형식으로 알려져 있다.

공간을 구성하기 위해서는 트러스는 Fig. 3에 도시된 것처럼 입체형태가 되어야 하며, 적재하중이나 풍하중과 같이 외부에서 작용하는 하중을 지지하고, 바닥과 만나는 지지부는 고정되어 있어 전형적인 정적인 입체트러스 구조물이다.

2.2 동적인 입체 트러스 구조시스템

Fig. 3의 정적인 입체트러스 구조물에 동적인 기능을 추가할 수 있다면, 기술개발을 통한 기존 기술의 개선이라는 문제 유형이 된다. 개발된 기술은 동적인 입체 트러스 구조물이 될 수 있다. 트리스에서 말하는 동적임(Dynamization)이라는 개념은 자연의 생명체와 같이 인위적인 기술도 시간이 지남에 따라 진화를 한다는 일반적인 원리를 설명하는 소위 기술 진화의 법칙⁽⁴⁾에 근거하여 구성된다. Fig. 5는 Fig. 4와 같이 입체 트러스 구조물이 어떻게 하면 동적인 기능을 가질 수 있을 지에 대한 해답을 제시할 수 있는 칫솔의 기술 진화 사례를 보여준다. 칫솔은 사람의 이를 닦는 기능을 가지는 것으로 정의 할 때, 태초에 칫솔대가 고정되어 있는 기술시스템에서 반고정, 탄성을 가지는 유연한 칫솔대, 최종적으로는 자기장으로 조정하는 칫솔대로 발전할 수 있다.

Fig. 4에서와 같이 동적인 입체 트러스 구조물은 트러스 부재의 길이 조절이 가능하기 때문에 공간 형성의 제약을 줄

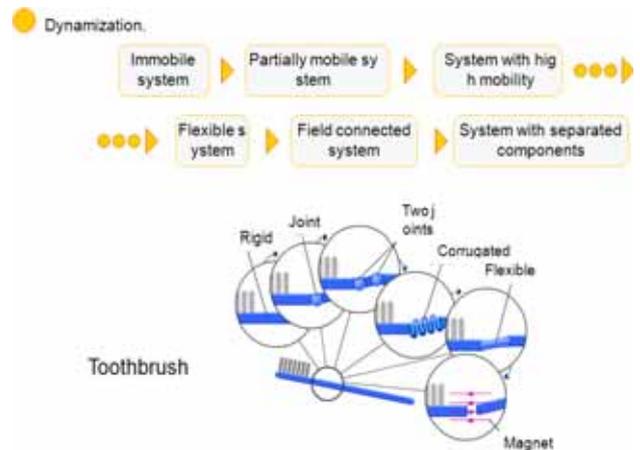


Fig. 5 Technical evolution of toothbrush⁽⁹⁾

여 주는 이점이 있다. 이러한 원리에 의해 기둥 사이의 공간도 줄였다 늘였다 할 수 있는 유연성을 가질 수 있다.

동적인 입체 트러스 구조물은 다양한 공간을 만들 수 있어야 한다. 입체 트러스 구조물은 3차원적으로 외부와 내부공간을 구분한다. 그 경계를 구성하는 것이 트러스 부재들이며, 다양한 형상의 공간을 가질 수 있도록 경계를 구성할 수 있는 것이 동적인 입체 트러스 구조물이다. 트러스 부재를 서로 연결하는 부분, 즉 연결부는 360도 회전이 가능해야 하고 동시에 각도를 고정시켜야 하므로 특정한 접합 디테일을 필요로 할 것이다.

3. 기능분석 방법으로서 기술트리 프로세스

3.1 사전 프로세스

기능분석 방법으로서 기술트리 프로세스에서는, 대상 프로젝트에 대한 기술개요를 파악한 후, 기술트리 프로세스에 들어가기에 앞서 Fig. 6과 같이 사전프로세스 단계를 거치게

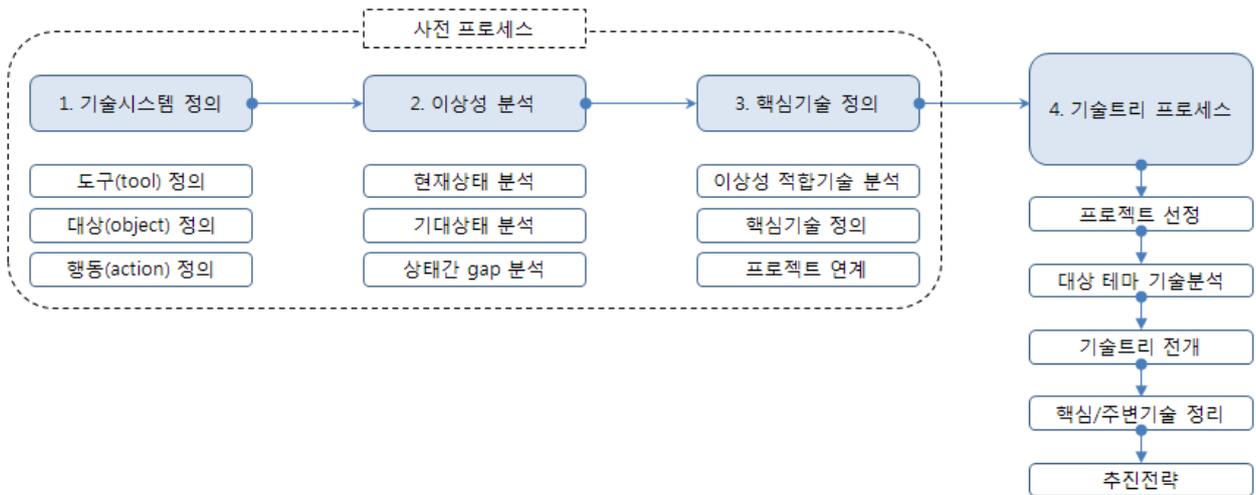


Fig. 6 Process map of technology tree

된다. 사전 프로세스는 수행한 대상 프로젝트의 기술개요를 사고 프로세스에 맞게 요약하는 프로세스로서 기술시스템의 정의, 이상성 분석, 핵심기술 정의로 구성되는 순차적인 프로세스이다.

대상 프로젝트인 입체 트러스 구조물은 하나의 기술시스템으로 정의할 수 있다. 즉 대상은 입체 트러스 구조물이며, 행동은 동적이어야 한다는 것이다. 대상과 행동을 만족하는 도구를 찾는다는 것은 풀어야 할 연구자의 문제가 된다. 기술시스템의 정의와 문제를 풀어야 하는 동기가 정립이 되었으면, What I want 즉 내가 과연 원하는 것이 무엇인가를 고려할 수 있다. 이것은 식 (1)에 도식된 이상성(ideality) 분석을 통해 도출할 수 있다.

$$\text{이상성} \uparrow = \frac{\text{유용한기능} \uparrow}{\text{유해한기능} \downarrow} \quad (1)$$

즉 현재상태가 어떠한고, 기대되는 상태가 어떠한므로 둘 상태간의 차이를 줄이거나 없앨 수 있는 방안이 무엇인가를 고민하는 것이다. 동적인 입체트러스를 만든다는 것이 기대상태라면, 정적인 입체트러스는 현재 상태이다.

동적인 것과 정적인 것의 차이를 극복하는 것이 문제를 해결하는 것이며, 이상성을 극대화 하는 방법이다. 이러한 관점에서 문제의 정의를 도식화 하면 Fig. 7과 같다.

이상성을 극대화 하는 무언가가 핵심기술이 되며, 대상 프로젝트인 입체 트러스 구조물의 개념을 파괴하지 않는 범위 내에서 요구되는 핵심기술이 대상 프로젝트와 연계가 되어야 한다. 이상성을 충족하는 기술에 대하여 문헌이나 특허조사와 같은 방법을 사용하여 예비 분석도 가능하다.

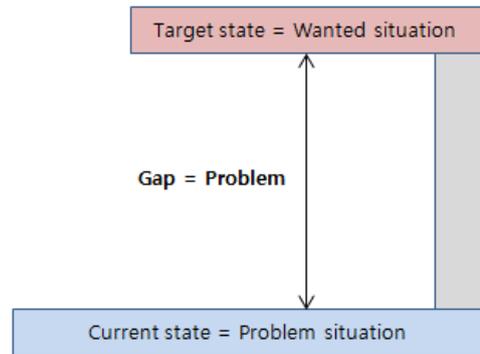


Fig. 7 Definition of problem

3.2 기술트리 프로세스

Fig. 6과 같이 사전 프로세스가 끝나면 기술트리 프로세스를 시작한다. 기술트리 프로세스는 5단계로 구성되는데, 프로젝트의 선정, 대상 테마 기술분석, 기술트리 전개, 핵심 및 주변 기술 정리, 추진전략의 순차적 프로세스이다. 각 단계별 요구되는 입력 정보와 출력정보는 Fig. 8에 도식되어 있다.

여기서 기술트리 프로세스 맵의 최종 산출물은 연구자가 일반적으로 연구를 시작하기 전 작성하고 계획하는 연구개발 계획서 또는 기획보고서가 될 수 있다. 이런 흐름에서 살펴보면 1단계는 대상과제의 배경분석 및 연구의 필요성을 기술하고 과제 정의 및 연구의 큰 틀로서 목표를 설정한다. 2단계는 대상 연구테마의 기술분석으로 연구과제에서 기술의 현재와 미래 특성을 선정하여 목표를 정량화한다. 3단계는 정량화된 목표에 대하여 기능분석을 실시하고, 세부 요소 기술을 도출한다. 이것은 연구목표와 세부 요소 기술에 적합한 연구내용을 정리하는 단계이다. 4, 5단계는 핵심, 주변기술을 정

리하고 세부 추진전략을 세우는 것으로 기술의 평가기준을 설정하고 평가하는 기반을 마련하므로 연구계획서 상의 기대 및 파급효과를 정리하는 단계로 볼 수 있다.

정의(Definition), 활동(Activity), 도구(Tool), 산출물(Deliverables)의 각 단계별 기술트리 프로세스의 세부사항은 총 15 스텝으로 구성되며 상세내용은 Fig. 9와 같다.

기술트리를 기능분석을 통해 전개할 때 목적기능, 기본기능, 2차기능, 3차기능 순으로 세부 기능으로 세분화 되며, 하위 기능으로 갈수록 요구되는 기술과 이를 실현하기 위한

구체적인 방법론이 명확해진다. 최종적으로는 요구하는 기술을 포함하는 제품으로 귀결되는 경우가 많다. 기술트리의 강점이 이것이다. 세분화된 기능을 통하여 기존 특허조사를 통해 새로운 제품을 구성하기 위한 아이디어를 얻을 수 있기 때문에 많은 기술 중에 필요한 기술의 선택과 집중이 용이하다.

기술트리 프로세스의 기능전개는 도출된 기능의 신뢰성을 검증받을 수 있는 수시 검증 프로세스가 필요하다. 기능의 실현가능성 분석을 통해 올바른 기능전개의 방향을 제시한다. 검증 결과물은 일반적으로 연구결과보고서의 형태로 나타난다. 대상 기술에 대한 성과지표가 명확해야 하는 것은 연구결과물의 효용성에도 영향을 미치게 된다. 기술트리의 기능도출은 요소 기술을 세분화하여 필요 연구내용을 명확하게 한다. Fig. 10과 같이 기술트리 기능도출 프로세스와 이의 검증 프로세스는 유용 정보를 서로 교환하고 피드백해서 두 프로세스의 상생을 이룰 수 있다.

기술트리 프로세스 맵과 상세내용을 바탕으로, 본 연구에서 살펴보고자 하는 이동 및 다형상이 가능한 입체 트러스 구조물에 대한 기술트리 프로세스 1~3단계는 각각 Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13과 같다.

Fig. 11에 도시된 1단계에서는 터널과 같은 대공간구조물의 유지관리 가설공사를 차량이나 사람의 통제 없이 효율적으로 하려는 현장 VOC, 가설공사의 시장을 분석하고, 용도와 기대, 사회 환경 분석을 포함하는 필요기술의 전개 및 개요를 서술한다. 기술을 필요로 하는 대상 고객은 정부 지자체 관공서 및 건설사가 될 수 있다. Fig. 12에 도시된 2단계에서는 과제 목표에 따른 기술의 기능 원리도, 힘의 평형의 법칙과 부재의 단면 사이즈 최적설계를 위한 응력공식에 근거한 과학적 원리, 강관 소재와 같은 제품을 구성하는 재료 특성, 프로젝트의 목적기능과 기본기능을 간단하게 정리한 대상 테마 기술분석을 수행한다. Fig. 13에 도시된 3단계는 기술트리 프로세스의 핵심으로서 기능을 세분화하여 요소기술을 그룹핑한다. 목적기능은 원형강관을 이용하여 스마트 입체 트

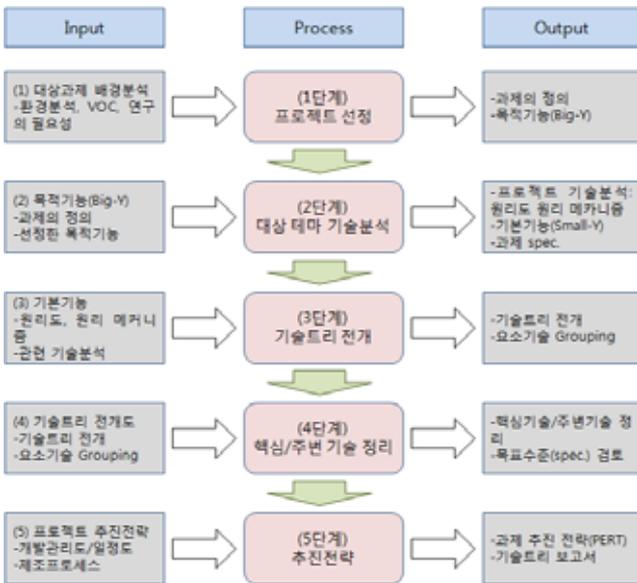


Fig. 8 Five stages for technology tree

	Step	Step 1 - 1차 기능 분석	Step 2 - 2차 기능 분석	Step 3 - 3차 기능 분석
1단계	정의(Definition)	정의(Definition) 및 목표 설정	과제 선정 배경 조사, 필요성 분석	과제 정의, 목표 설정
	활동(Activity)	Goal of 그림	VOC, 현장 시장, 경쟁 기술 조사	목적 기능 정리
	도구(Tool)		SWOT, 벤치마킹	KI mapping, 당위성 설명서
	산출물(Deliverable)	추진 계획서	VOC 정리(과제 정의), 세부 TA	CIQ, 목적 기능 산출, 목표 spec.
2단계	정의(Definition)	목적 기능 작동 원리 분석	목적 기능 요구, 기본 기능 선정	기본 기능의 요구 spec. 도출
	활동(Activity)	관련 자료, 관련 조사, 원리도	주요 기능 분석	자료, 제품 요구 사항, 시장 조사
	도구(Tool)	Knowledge(MC/SW)	목적 기능 원리도, 보충 정보 도출	
	산출물(Deliverable)	목적 기능 원리도	기본 기능 도출	기본 기능 spec.
3단계	정의(Definition)	기술 트리 전개	특성 관련 정리	요소 기술 Group
	활동(Activity)	기술 트리 전개, 원리도, 연구, 관련 조사	자료 분석, 자료 분석	연계된 기술 Subsystem Group
	도구(Tool)	Path Optimiser, Goldie	통의 및 Knowledge(MC/SW)	기술 분석 방법(가중-부하-가중)
	산출물(Deliverables)	기술 트리 전개도	통의 분석 자료, 신규 특허	요소 기술 Grouping
4단계	정의(Definition)	핵심/주변 기술 정리	핵심/주변 기술 정리	관련 기술 부위 분석
	활동(Activity)	기술 트리 분석, 관련 자료 분석	목적 수준, parameter 분석	기술 트리 분석, 현장 조사
	도구(Tool)	당위성, 기술 트리 분석		
	산출물(Deliverables)	핵심/주변 기술 구분	기술 트리도	부위 기술 수준 정리
5단계	정의(Definition)	기술 트리 분석	과제 추진 전략	트리 정리
	활동(Activity)	Activity planning, 마스터플랜 수립	과제 추진 전략, 실적 계획 수립	트리 분석, 실적 계획
	도구(Tool)	기술 트리 분석	PERT	트리 분석, 실적 계획
	산출물(Deliverables)	기술 트리 분석, 마스터플랜, 실적	개발 일정도, Process flow chart	기술 트리 보고서, 실적 계획

Fig. 9 Details of technology tree on five stages

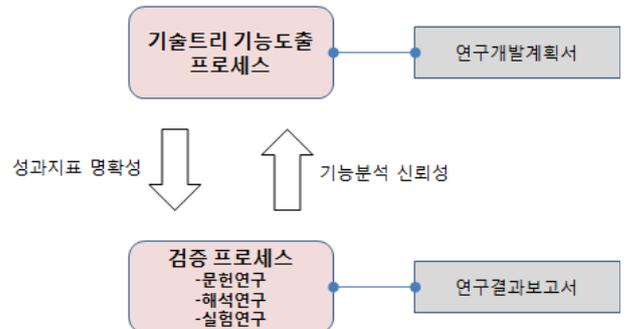
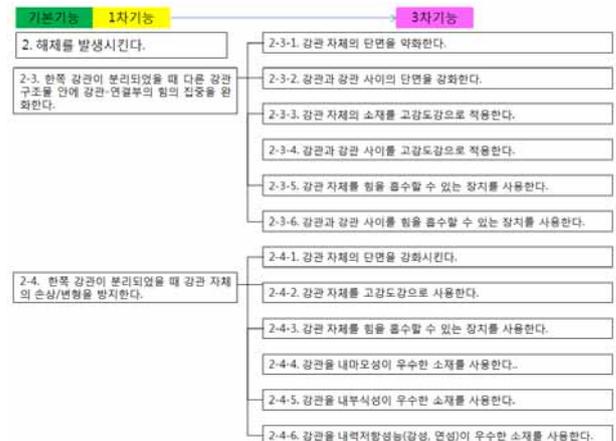
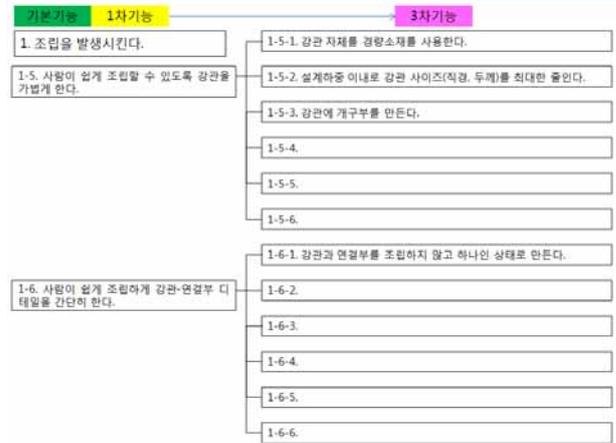
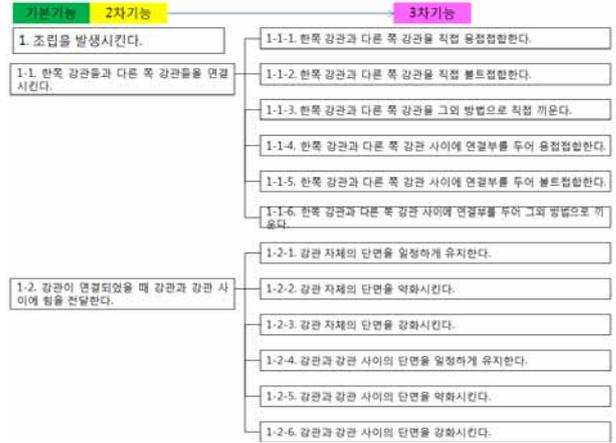
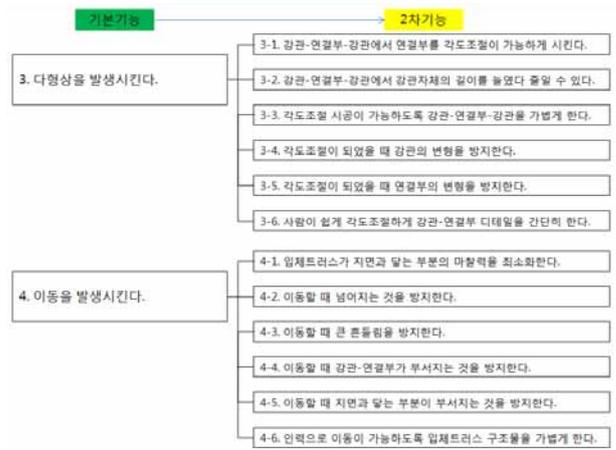
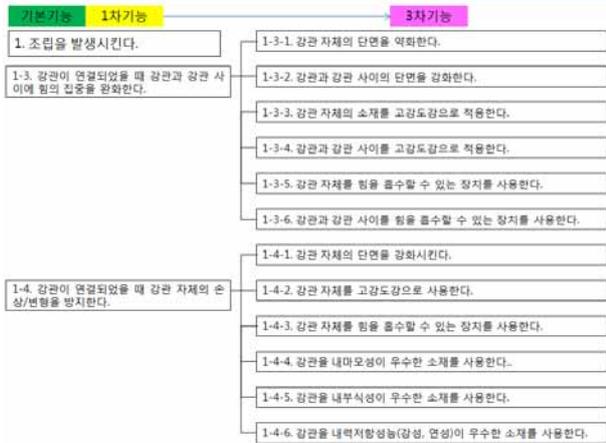
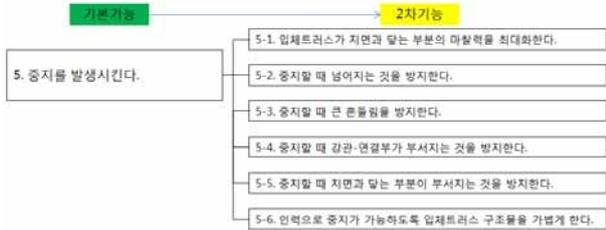


Fig. 10 Feedback action between technology tree and verification process



기본기능	1차기능	3차기능
2. 해제를 발생시킨다.		2-5-1. 강관 자체를 경량소재를 사용한다.
2-5. 사람이 쉽게 해제할 수 있도록 강관을 가깝게 한다.		2-5-2. 설계하중 이내로 강관 사이즈(직경, 두께)를 최대한 줄인다.
		2-5-3. 강관에 개구부를 만든다.
		2-5-4.
		2-5-5.
		2-5-6.
2-6. 사람이 쉽게 해제하게 강관과 강관 연결부 디테일을 간단히 한다.		2-6-1. 강관과 연결부를 조립하지 않고 하나인 상태로 만든다.
		2-6-2.
		2-6-3.
		2-6-4.
		2-6-5.
		2-6-6.

기본기능	1차기능	3차기능
3. 다형상을 발생시킨다		3-3-1. 강관 자체를 경량소재를 사용한다.
3-3. 각도조절 시공이 가능하도록 강관-연결부-강관을 가깝게 한다.		3-3-2. 설계하중 이내로 강관 사이즈(직경, 두께)를 최대한 줄인다.
		3-3-3. 강관에 개구부를 만든다.
		3-3-4.
		3-3-5.
		3-3-6.
3-4. 각도조절이 되었을 때 강관의 손상/변형을 방지한다.		3-4-1. 강관 자체의 단면을 강화시킨다.
		3-4-2. 강관 자체를 고강도강으로 사용한다.
		3-4-3. 강관 자체를 힘을 흡수할 수 있는 장치를 사용한다.
		3-4-4. 강관을 내마모성이 우수한 소재를 사용한다.
		3-4-5. 강관을 내부식성이 우수한 소재를 사용한다.
		3-4-6. 강관을 내력저항성능(강성, 연성)이 우수한 소재를 사용한다.

기본기능	1차기능	3차기능
4. 이동을 발생시킨다.		4-1-1. 지면과 달는 부재에 버퍼를 설치한다.
4-1. 입체트러스가 지면과 달는 부분의 마찰력을 최소화한다.		4-1-2. (지면에 레일을 설치하고) 레일용 버퍼를 설치한다.
		4-1-3. 지면을 평탄하게 한다.
		4-1-4. 지면과 달리 설계 한다.(공중에 뜨게 한다.)
		4-1-5.
		4-1-6.
4-2. 이동할 때 넘어지는 것을 방지한다.		4-2-1. 입체트러스 상부 수평트러스 부분 등에 부재의 자중을 줄인다.
		4-2-2. 지면을 평탄하게 한다.
		4-2-3. 지면 장애물(을 씌), 주위의 시설물(차량표시판 등)을 제거한다.
		4-2-4. 이동할 때 저항력을 유지한다.
		4-2-5.
		4-2-6.

기본기능	1차기능	3차기능
4. 이동을 발생시킨다.		4-5-1. 지면과 달는 부분 자체의 단면을 강화시킨다.
4-5. 이동할 때 지면과 달는 부분이 부서지는 것을 방지한다.		4-5-2. 지면과 달는 부분 자체를 고강도강으로 사용한다.
		4-5-3. 지면과 달는 부분 자체를 힘을 흡수하는 장치를 사용한다.
		4-5-4. 지면과 달는 부분을 내마모성이 우수한 소재를 사용한다.
		4-5-5. 지면과 달는 부분을 내부식성이 우수한 소재를 사용한다.
		4-5-6. 지면과 달는 부분을 내력저항성능(강성, 연성)이 우수한 소재를 사용한다.
4-6. 인력으로 이동이 가능하도록 입체트러스 구조물을 가깝게 한다.		4-6-1. 강관, 연결부, 지면과 달는 부분 자체를 경량소재를 사용한다.
		4-6-2. 강관, 연결부, 지면과 달는 부분에 설계하중 이내로 지이스(직경, 두께)를 최대한 줄인다.
		4-6-3. 강관, 연결부, 지면과 달는 부분에 개구부를 만든다.
		4-6-4.
		4-6-5.
		4-6-6.

기본기능	1차기능	3차기능
3. 다형상을 발생시킨다		3-1-1. 강관 연결부에 유니버설 조인트를 설치한다.
3-1. 강관-연결부-강관에서 연결부를 각도 조절이 가능하게 시킨다.		3-1-2. 강관 연결부를 5배 정도 밀물고 끼우는 구멍을 두어 강관이 끼워지는 각도를 다양하게 한다.
		3-1-3.
		3-1-4.
		3-1-5.
		3-1-6.
3-2. 강관-연결부-강관에서 강관자체의 길이를 높였다 줄일 수 있다.		2-2-1. 두께 차이가 있는 이중, 삼중 강관을 설치한다.(난시대, 등산지팡이)
		2-2-2. 길이를 높였다 줄였다 때 길이조정을 시킨다.
		2-2-3. 유압으로 강관의 길이를 조정한다.
		2-2-4. 스프링으로 강관의 길이를 조정한다.
		2-2-5.
		2-2-6.

기본기능	1차기능	3차기능
3. 다형상을 발생시킨다		3-5-1. 연결부 자체의 단면을 강화시킨다.
3-5. 각도조절이 되었을 때 연결부의 손상/변형을 방지한다.		3-5-2. 연결부 자체를 고강도강으로 사용한다.
		3-5-3. 연결부 자체를 힘을 흡수할 수 있는 장치를 사용한다.
		3-5-4. 연결부를 내마모성이 우수한 소재를 사용한다.
		3-5-5. 연결부를 내부식성이 우수한 소재를 사용한다.
		3-5-6. 연결부를 내력저항성능(강성, 연성)이 우수한 소재를 사용한다.
3-6. 사람이 쉽게 각도조절하게 강관-연결부 디테일을 간단히 한다.		3-6-1. 강관과 연결부를 조립하지 않고 하나인 상태로 만든다.
		3-6-2.
		3-6-3.
		3-6-4.
		3-6-5.
		3-6-6.

기본기능	1차기능	3차기능
4. 이동을 발생시킨다.		4-3-1. 입체트러스 상부 수평트러스 부분 등에 부재의 자중을 줄인다.
4-3. 이동할 때 큰 흔들림을 방지한다.		4-3-2. 지면을 평탄하게 한다.
		4-3-3. 수직트러스 부분 등에 하부부재의 자중을 크게 한다.
		4-3-4. 이동할 때 저항력을 유지한다.
		4-3-5.
		4-3-6.
4-4. 이동할 때 강관 연결부가 부서지는 것을 방지한다.		4-4-1. 강관과 연결부 자체의 단면을 강화시킨다.
		4-4-2. 강관과 연결부 자체를 고강도강으로 사용한다.
		4-4-3. 강관과 연결부 자체를 힘을 흡수할 수 있는 장치를 사용한다.
		4-4-4. 강관과 연결부를 내마모성이 우수한 소재를 사용한다.
		4-4-5. 강관과 연결부를 내부식성이 우수한 소재를 사용한다.
		4-4-6. 강관과 연결부를 내력저항성능(강성, 연성)이 우수한 소재를 사용한다.

기본기능	1차기능	3차기능
5. 움직임을 발생시킨다.		5-1-1. 지면과 달는 부재에 브레이크를 설치한다.
5-1. 입체트러스가 지면과 달는 부분의 마찰력을 최대한한다.		5-1-2.
		5-1-3.
		5-1-4.
		5-1-5.
		5-1-6.
5-2. 움직일 때 넘어지는 것을 방지한다.		5-2-1. 입체트러스 상부 수평트러스 부분 등에 부재의 자중을 줄인다.
		5-2-2. 지면을 평탄하게 한다.
		5-2-3. 지면 장애물(을 씌), 주위의 시설물(차량표시판 등)을 제거한다.
		5-2-4. 움직일 때 저항력을 유지한다.
		5-2-5.
		5-2-6.

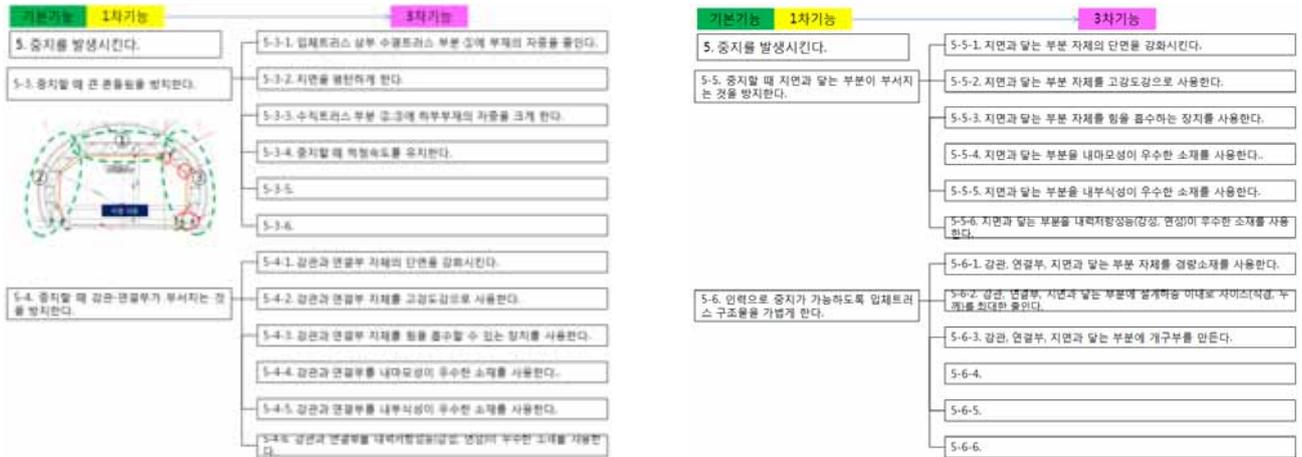


Fig. 13 Technology tree process of 3rd stage

요소로서 기술 및 시장, 고객에 대한 제반여건에 대한 철저한 분석이 이루어진다. 셋째, 기술트리 전개를 통하여 기술을 공개하면서 연구자가 자신의 기술수준을 인식하게 되고, 공동 개발자끼리의 컨센서스를 형성하여 새로운 발상의 가능성을 확인케 한다.

4. 기술트리 기능전개의 검증 프로세스

기술트리 프로세스는 도출된 기능의 신뢰성을 검증할 수 있는 검증 프로세스가 필요하다. 검증 프로세스는 기술트리 프로세스를 통해 기술개발의 방향이 명확해진다.

Fig. 13에 도시된 것과 같이 본 연구의 대상 프로젝트인 구조물의 유지관리 가설공사용 입체트러스 시스템의 핵심기능은 조립과 해체 시공시 노동력을 줄일 수 있고, 강관 연결부의 손상과 변형을 방지할 수 있는 하위기능들의 조합이다.

경량 고강도강관 소재를 적용한다면 기능 달성이 가능할 것이다. 이러한 가설을 검증하는 프로세스로서는 Fig. 10에 도시된 것처럼 문헌연구, 해석연구, 실험연구가 있다. 본 연구에서는 해석연구, 즉 구조해석을 통해 이를 검증하고자 한다.

4.1 기능전개의 검증 - 해석연구 개요

대상 터널은 2차선 도로터널로서 건축한계선은 최소폭이 10.7m, 최소높이는 4.8m를 경계로 입체 트러스 구조물이 통과되도록 구성되며 Fig. 14와 같다.

대상 터널에 통과되는 가설 입체 트러스 구조물은 KBC 2009⁽¹⁰⁾의 경량구조물 및 경량지붕층에 적합한 적재하중 조건 80kg/m²을 적용하며, 바깥 4개 접점의 핀 지지로 구성된다. 이러한 구조물의 하중, 형상, 지점조건은 Fig. 15와 같다.

Fig. 13의 기능전개를 통하여 도출된 하위기능을 조합한 핵심기능은 경량 고강도강을 적용한 입체 트러스 구조물이다. 이에 적합한 소재로서 구조물용 강관소재인 인장강도 700MPa 급 강관비비용 UL700⁽⁴⁾을 적용한다. 기존의 STK500과 비

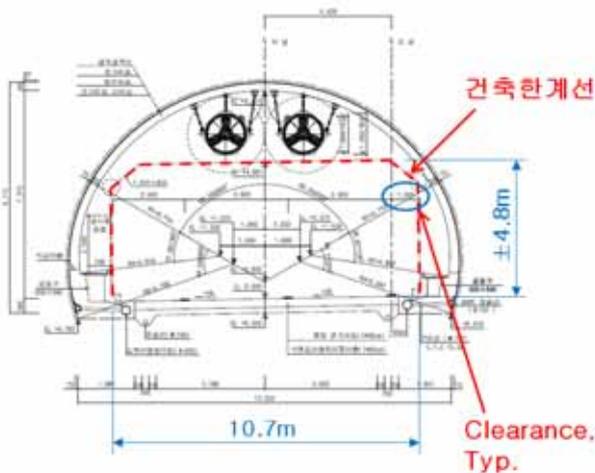


Fig. 14 Tunnel structure

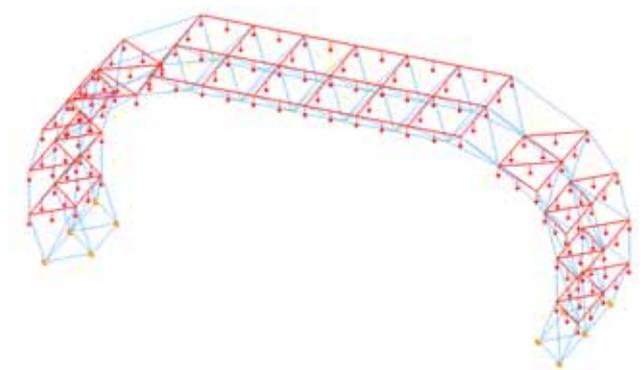


Fig. 15 Shape, support, and loading condition for space truss structure

Table 1. Definition of design parameters

Material	STK500	UL700
Member Size (mm)	Φ-48.6×2.3	Φ-48.6×1.8
Yielding Strength (N/mm ²)	325	595
Unit Weight (kg/m)	2.63	2.08
Quantity (kg)	299	237

교검증하며, 사용한 구조해석 프로그램은 ABAQUS 6.5-1이다. 소재 물성치는 Table 1과 같다.

4.2 기능전개의 검증 - 해석연구 결과

Table 1의 STK500 재원을 적용하였을 때 연직하중에 대한 푸쉬오버 비선형 해석^{[11],[12],[13]} 결과로서 입체 트러스 구조물의 변형 양상은 Fig. 16과 같다. 수평거더 부분에 처짐이 발생하고 양 측면부는 압축이 작용하였다. 인장력에 강한 강재의 특성상 처짐변형에 비해 압축변형이 가장 취약하다고 볼 수 있다. 약 390MPa의 압축력이 발생하였고, 항복강도가 400이상인 강재를 적용한다면 구조적인 안전성에 문제가 없다.

Fig. 17은 STK500, UL700 재원을 적용했을 때 하중변위 변화 양상을 나타낸다. 여기서 STK500은 강관 두께가 0.5mm가 더 두꺼워 초기강도 확보 면에서 UL-700보다 다소 유리함을 보인다. 그러나 UL700은 기존 STK500보다 3배 이상의 연성능력이 확보됨을 알 수가 있다. 또한 UL700을 적용한다면 동일성능 대비 두께를 줄일 수 있으므로 STK 500보다 약 25%의 물량절감 효과가 있다^[14]. 따라서 자재 운반성과 현장 시공성도 향상될 수 있다.

4.3 기능전개의 검증 - 문헌연구

기능전개의 검증을 위한 1차적인 방법은 논문이나 특허

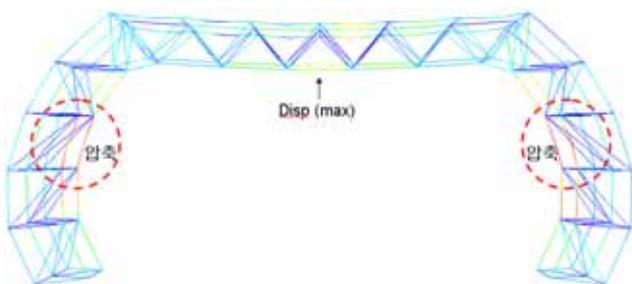


Fig. 16 Structural behaviors by ABAQUS 6.5-1

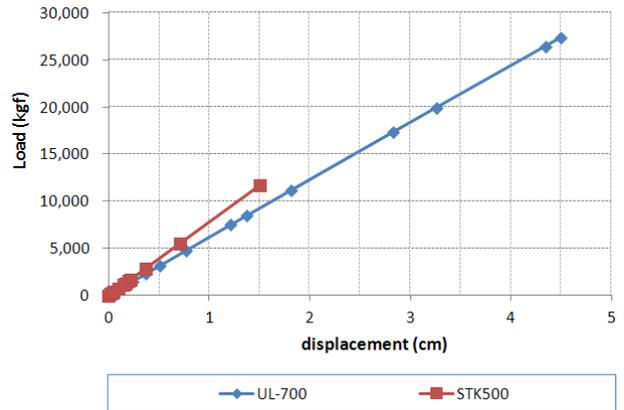


Fig. 17 Load-displacement curve by using STK500 and UL700 as structural truss material

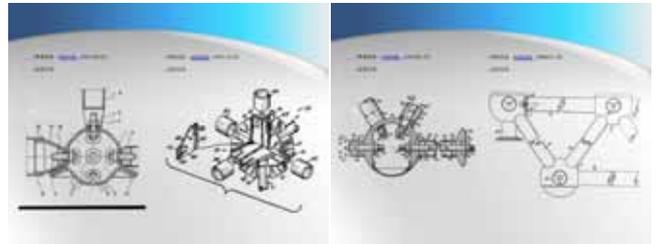


Fig. 18 Reference research by patents

(Fig. 18) 또는 유사연구 등의 문헌을 조사하는 데 있다. 가장 쉬운 방법 중에 하나이다.

5. 결론

기술트리 프로세스는 과제를 준비하는 연구기획 단계 또는 계획서 작성 단계에서 기술원리, 핵심기술, 기능전개를 통한 세부 요소 기술도출이 가능한 효과적인 과학적 사고방법론이다.

본 연구에서는 기술트리의 기능전개방식을 통해, 차량이 차단되지 않고도 터널의 유지보수 용도로 가능한 입체트러스 시스템을 고안하고 이를 해석적으로 검증하였다.

또한 본 연구에서는 사전 프로세스와 기술트리 프로세스의 연계성, 기술트리 프로세스와 검증 프로세스 간의 피드백 관계성을 제안하고 있다. 즉, 기존의 연구 방법론인 사전 프로세스가 어떻게 기술트리와 연계가 가능한지를 증명하여 기술트리 방법론의 일반화가 가능하도록 유도하였다. 또한 기술트리 프로세스로서 성과지표가 명확한 검증 프로세스 결과물을 유도할 수 있었고, 검증 프로세스는 기술트리 기능전개의 신뢰성을 가질 수 있다는 것을 증명하였다.

이러한 기술트리 프로세스의 효용성을 증명하기 위하여 강구조 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 구조형식인 입체 트러스 구조물을 대상 프로젝트로 하고, 이동 및 변형이 가능하

다는 스마트한 핵심기능을 부여하여 기술트리 기능전개 및 검증을 위한 문헌연구와 해석연구 프로세스를 수행하였다.

본 연구의 의미는 산업공학, 경영기술(이원일, 2008; 이종환, 2002) 등의 분야에 이미 범용적으로 사용되고 있는 기술트리 기능전개 과학적 방법론을 강구조 분야에 적용했다는 데 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원(현, 국토교통과학기술진흥원)에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업 상시제안과제(과제번호: 11-기술혁신-E05)에 의한 터널가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발의 연구비 지원과 2013년도 세종대학교 신입교원 교내연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌(References)

[1] Lee, D.K., Kim, J.H., Starossek, U., and Shin, S.M. (2012) Evaluation of Structural Outrigger Belt Truss Layouts for Tall Buildings by using Topology Optimization, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 43, No. 6, pp.711-724.

[2] 이장용 (2010) TRIZ와 기능모델링을 활용한 창의적 설계, *대한기계학회 추계학술대회논문집*, 대한기계학회, pp. 1730-1736.

Lee, J. (2010) innovative design with TRIZ and functional modeling, *The Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp.1730-1736.

[3] 안영수, 황인극 (2010) R&D 분야에서 Triz 개념을 활용한 혁신 전략, *한국산업경영시스템학회 학술대회논문집*, 한국산업경영시스템학회, pp.1-4.

Ahn, Y. and Hwang, I. (2010) Innovation Strategy Using Triz Methodology in R&D Area, *The Proceedings of Korea Industrial and System Engineering*, pp.1-4.

[4] 김호중 (2007) 실용 트리즈(TRIZ)의 창의성 과학: 기초편, 두양사

Kim, H. (2007) *Inventive Science of TRIZ: Basic*, Duyang-sa.

[5] 이원일 (2008) 전략기술정보 '레포지터리'로서 기술트리 (Tech. Tree)의 활용방안에 관한 연구 -기술로드맵(TRM)과의 전략적 통합방안을 중심으로-, *정보관리연구*, 제39권, 제3호, pp.205-220.

Lee, W. (2008) *A Study on the Utilization of the Technology Tree as a Strategic Technology Information Repository -Focused on the Tech-Tree and TRM*

Integration, Journal of Information Management, Vol. 39, No. 3, pp.205-220.

[6] 홍선호, 조연옥 (2005) 철도시스템 안전 기술트리 체계화 방안에 관한 연구, *한국철도학회 추계학술대회 논문집*, 한국철도학회, pp.55-61.

Hong, S. and Jo, Y. (2005) A Study of Plans for systemizing Railway System Safety Technology Tree, *The Proceedings of The Korean Society for Railway*, pp.55-61.

[7] 이경주, 오진탁, 황경주, 주영규, 김상대 (2012) 단층 프리폼 대공간 구조물의 노드에 대한 축하중 구조성능 평가, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제24권, 제1호, pp.59-71.

Lee, K., Oh, J., Hwang, K., Joo, Y., and Kim, S. (2012) Structural Performance of an Axially-loaded Node in Single Layered Free Form Space Structures, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 24, No. 1, pp.59-71.

[8] 김대환, 윤병욱, 이재홍 (2011) 마이크로 유전 알고리즘을 이용한 트러스 구조물의 단면 및 형상 최적화, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제23권, 제4호, pp.465-474.

Kim, D., Yoon, B., and Lee, J. (2011) Size and Shape Optimization of Truss Structures using Micro Genetic Algorithm, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 23, No. 4, pp.465-474.

[9] Shpakovsky, N. (2006) *Evolution Tree - Analysis of Technical Information and Generation of New Ideas*, Publishing house Puls.

[10] 대한건축학회 (2009) 건축구조설계기준. Architectural Institute of Korea (2009) *Korean Building Code*.

[11] 김연태, 정미루, 이재홍 (2008) 유한요소해석을 이용한 단층 레티스 돔의 비선형비탄성 해석, *한국공간구조학회 춘계학술발표대회 논문집*, 한국공간구조학회, 제5권, 제1호, pp.119-124.

Kim, Y., Jung, M., and Lee, J. (2008) Geometric and Material Nonlinear Analysis of Single Layer Dome using ABAQUS, *The Proceedings of Korean Association for Spatial Structures*, Vol. 5, No. 1, pp.119-124.

[12] 이승창, 김형규, 오정근, 신석수, 정재용, 박영석, 김준기 (2007) 대공간 원형 강관 트러스 구조물의 구조 검토 및 Erection Engineering, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제19권, 제1호, pp.99-106.

Lee, S., Kim, H., Oh, J., Shin, S., Jung, J., Park, Y., and Kim, J. (2007) Structural Concerns and Erection Engineering for Pipe Trusses with

Long Span, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 19, No. 1, pp.99-106.

[13] 장진원, 김승준, 박종섭, 강영중 (2008) 잔류응력과 초기 변형을 고려한 송전철탑의 비선형 극한거동에 관한 해석적 연구, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제20권, 제3호, pp.421-435.

Jung, J, Kim, S., Park, J., and Kang, Y. (2008) Study on Ultimate Behavior of Steel Transmission Tower with Residual Stress and Initial Imperfection,

Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol. 20, No. 3, pp.421-435.

[14] 한국철강협회 (2008) POS3S-70 적용 고강도 단관 비계 실물재하 실험을 통한 구조안정성 검증, 한국철강협회 연구보고서.

Korea Iron & Steel Association (2008) *A verification of the falsework using POS3S-70 through loading test, KISA Research Project Report.*

요 약 : 본 연구는 연구프로젝트의 기술과 기술의 기능의 체계적 관점에서 기술트리라는 과학적인 방법론의 사례를 제공한다. 기술트리 프로세스를 활용하여, 강구조물 중에 가장 범용적으로 사용되고 있는 입체 트러스 구조물을 대상으로, 차량을 차단하지 않는 터널 가설공사에 적합한 스마트한 입체 트러스 구조물이 되기 위한 세부 기능과 요소기술을 도출하는 기술전개 방법론을 제안한다. 본 연구에서는 이러한 기능분석 방법론은 문헌, 해석연구를 통한 검증프로세스를 통해 피드백이 가능함을 증명하였고, 향후 타 분야 기술의 효과적인 세부기능 전개 및 요구기술 도출에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

핵심 용어 : 기술트리, 입체 트러스 구조물, 기능, 강구조, 검증 프로세스, 구조해석