

해저터널 시공중 지반조건별 위험 시나리오 관리기법

박의섭^{1)*}, 신희순¹⁾, 신용훈²⁾, 김택곤³⁾

Management of Risk Scenarios based on Ground Conditions under Construction of a Subsea Tunnel

Eui-Seob Park, Hee-Soon Shin, Yong-Hoon Shin, Taek-Gon Kim

Abstract In order to establish the causes and measures for technical risks that occur in various ground conditions when a subsea tunnel is excavated, it is important to configure expected risk scenarios. In addition, when the risk scenarios are classified because the scenario that occurs along all tunnel route and the scenario limited to some area are considered together, a logical framework with systematic and organized responses can be provided for project managements. In this research, project risk scenarios and management elements were configured, and the project schedule was established for the management techniques to the risk scenario. The risk scenarios expected in a subsea tunnel were classified into a common risk scenario and a special risk scenario, and the concept which can combine with the project management elements was derived.

Key words Risk Scenario, Subsea tunnel, Ground condition, Project management, Project schedule

초 록 해저터널을 굴착할 때 다양한 지반조건에서 발생하는 기술적인 위험에 대한 원인 규명과 조치를 수립하기 위해서는 예상되는 위험 시나리오를 구성하는 것이 중요하다. 또한, 위험 시나리오를 분류할 때 터널 굴착노선 전반에 걸쳐 발생되는 시나리오와 일부 구간에 국한하여 발생되는 시나리오를 함께 고려함으로써 프로젝트관리 측면에서 체계적이고 조직적인 대응을 할 수 있는 논리적인 틀을 제공할 수 있다. 본 연구에서는 위험 시나리오에 대한 관리기법으로 프로젝트 위험 시나리오와 프로젝트 관리요소를 구성하고 파일럿 프로젝트를 선정하여 프로젝트 일정을 수립하였다. 특히 해저터널에서 예상되는 위험 시나리오를 일반 위험 시나리오와 특정 위험 시나리오로 분류하고 프로젝트 관리요소와 연계할 수 있는 개념을 도출하였다.

핵심어 위험 시나리오, 해저터널, 지반조건, 프로젝트 관리, 프로젝트 일정

1. 서 론

일반적인 해저터널은 Fig. 1과 같이 육지로부터 터널 안정성에 문제가 없는 기반암 깊이까지 차량 운행상 안전한 기울기로 내려가는 형태이다. 이때 터널 연장은 공사비 등 경제적 측면에 직접 관련되어 있으나 터널 상부 암석층 확보 및 운전자 안전 고려 등으로 인해 터널 깊이를 조정하는데 제한이 많다. 따라서 연결하고자

하는 두 지점이 최대한 가까운 위치를 모색하게 되며 자연히 해협과 같은 지형에 노선을 계획할 가능성이 크다. 하지만 터널 노선에서 주로 깊은 곳에 해당하는 이러한 지점에는 연약대 또는 단층 등이 존재하기 쉽다. 이러한 연약대나 단층의 존재는 계획 단계에서의 조사가 충분하지 못한 상태에서 시공과정에 큰 어려움을 줄 수 있으며 터널 상부 암석층을 안정적으로 확보하는 데에도 문제가 될 수 있다.

또한 일반적으로 해저 기반암은 수중에 바로 노출되지 않고 Fig. 1에서 보는 바와 같이 토사 퇴적층이 덮고 있는 경우가 많다. 이 때 퇴적층은 터널 굴착시 아칭효과를 발휘하는 터널 상부 암석층에 하중으로 작용하기도 하나, 퇴적물 특성에 따라 해수 차단재로써 바닷물 유입에 영향을 미치기도 한다. 경우에 따라서는 터널이 해저구간인지 육상구간인지보다 기반암 상부의 퇴적층

¹⁾ 한국지질자원연구원 지구환경연구본부

²⁾ (주) 비씨엔피 대표이사

³⁾ SK건설(주) Geotask팀

* 교신저자 : espark@kigam.re.kr

접수일 : 2009년 8월 17일

심사 완료일 : 2009년 8월 24일

게재 확정일 : 2009년 8월 25일

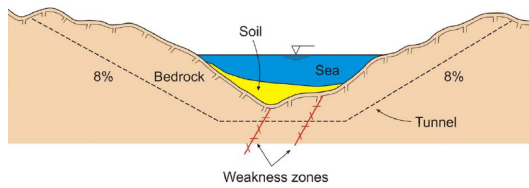


Fig. 1. General concept of a subsea tunnel¹⁾

유무가 더 중요할 수도 있으며 노르웨이 Alesund 터널에서 그 영향이 확인된 바 있다²⁾. 퇴적물이 단층이나 해저 협곡 등을 채우고 있는 경우에도 퇴적물의 종류와 투수성은 터널 시공에 주요한 고려사항이 된다.

따라서 해저터널을 굴착할 때 다양한 지반조건에서 발생하는 기술적인 위험에 대한 원인 규명과 조치를 수립하기 위해서는 예상되는 위험 시나리오(risk scenario)를 구성하는 것이 필수적이다. 또한, 위험 시나리오를 분류할 때 터널 굴착노선 전반에 걸쳐 발생하는 시나리오와 일부 구간에 국한하여 발생하는 시나리오를 함께 고려함으로써 프로젝트관리 측면에서 체계적이고 조직적인 대응을 할 수 있는 논리적인 틀을 제공하게 된다.

본 연구에서는 해저터널의 건설시 고려할 주요 사항을 근거로 해저지형 및 지층의 특성, 수압, 터널 상부 암석층 확보 등에 따라 다양한 지반조건을 설정하고 대표적인 위험 시나리오를 구성하였다. 이를 근거로 파일럿 프로젝트를 대상으로 위험 시나리오에 대처하는 프로젝트 일정을 수립하였다.

2. 위험 시나리오의 구성

본 연구에서는 해저터널의 시공 중에 발생할 수 있는 다양한 위험 시나리오를 크게 아래 2가지 경우로 분류하였다.

- 터널노선에 대한 지반조사결과에 따라 여러 개의 지반등급으로 분류하고, 구간별로 정형화된 지반등급별 설계사항을 적용하는 일반 위험 시나리오
- 해저지반의 형태, 해수 유입 가능성, 굴착안정성 등에 의한 지반취약개소에 적용하는 특정 위험 시나리오

2.1 일반 위험 시나리오

일반적으로 해저터널의 시공에는 NATM 방식에 의한 굴착방법과 Shield TBM 방식에 의한 굴착방법을 선택할 수 있다. 굴착방법은 지형 지질적인 특성에 따라 보통 하나의 굴착방법을 적용하게 되지만 프로젝트 특성(공사비, 공기 등)에 따라 동일한 프로젝트에서 두 가지

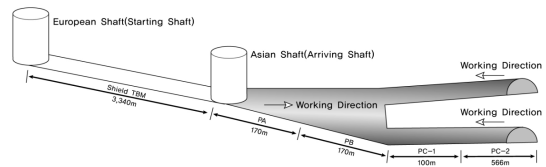


Fig. 2. Overview of tunnel excavation plan for the pilot project

방법을 함께 적용할 수 있다. 예를 들면, 본 연구의 프로젝트 일정 수립을 위한 파일럿 프로젝트인 ‘Turkey Istanbul Strait Road Crossing Project’의 경우 Fig. 2와 같이 해저터널 횡단 구간에서는 Shield TBM, 지상 접속구간에서는 NATM에 의한 굴착방법을 각각 적용하였고, 공사 일정을 맞추기 위하여 동시에 병행시공을 하도록 계획하였다.

2.1.1 Shield TBM에 의한 터널굴착

파일럿 프로젝트에서 Shield TBM 굴착은 이스탄불 해협을 횡단하는데 사용된다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 유럽 측에 설치된 수직구를 통하여 Shield TBM을 반입하고 조립한 후에 아시아 측에 설치된 수직구를 향하여 굴착하며, 수직구를 통하여 Shield TBM을 반출할 계획이다. 본 Shield TBM 굴착의 주요 계획은 다음과 같다.

- Shield TBM 터널연장: 전체 3,340 m, 단면 12.5 m (세그먼트 외경)
- 굴착기간: Shield TBM 반입/조립 2개월과 반출 1개월을 포함, 총 22.4개월 소요
- 굴착속도: 평균 170.0 m/month, 세그먼트는 일일 평균 3 Ring 시공

Shield TBM 터널굴착은 Table 1에서 나타난 것과 같이 5개 구간으로 나뉘며, 구간별 특성을 고려하여 1일 굴진장을 3.0~6.7 m로 차등 적용하여 굴착 소요일을 산출하였다.

2.1.2 NATM에 의한 터널굴착

NATM 굴착은 Shield TBM 터널구간이 지상구간으로 확장 및 연계하는데 적용한다. 앞서 Fig. 2에서 아시아 측에 설치된 수직구에서 시작되는 NATM 터널구간에 대한 일반적인 내용은 다음과 같다.

- NATM Tunnel 구간: 전체 연장 1,006 m, 단면 유형 4개

Table 1. Advance length and duration of each partitions

Partition	Length (m)	Advance length (m/day)	Duration (day)	Duration (month)	Remarks
Initial advance	114	3.0	38.0	1.4	
Site_1	1,486	6.7	221.8	7.4	
Site_2	300	4.9	61.2	2.2	slope adjustment, including 1 month
Site_3	1,416	6.4	221.3	7.9	
Final advance	24	3.0	8.0	0.3	
Total	3,340		550.3	19.7	

- 굴착기간: 양방향 병행 굴착으로 총 22.4개월 소요
- 굴착속도: 월평균 170.0 m

NATM 터널구간은 Fig. 3과 같이 4개 구간으로 나누어지고, 이들 구간별 특성을 고려하여 지반패턴별로 각각 1일 굴진장을 계획하였다.

본 연구에서는 Shield TBM과 NATM에 의한 터널 굴착시 노선 전방에서 예상되는 위험 시나리오에 대하여 프로젝트 통합관리 측면에서 예비(Reserve) 개념을 적용하고자 한다. 이러한 예비 개념은 다분히 정성적으로 대처해 오던 종래의 개념으로부터 가급적 예측 및 정량화가 가능하도록 하여 기술관리 측면을 프로젝트 관리 측면으로 연계 및 접목시킬 수 있다.

2.2 특정 위험 시나리오

해저지반의 형태, 해수 유입 가능성, 굴착안정성 등에 의한 지반취약개소에 적용하는 특정 위험 시나리오는 Table 2와 같이 6가지 유형으로 구분하였다.

또한 6가지 위험 시나리오는 Table 2에서 보여 지듯이 일반적으로 시추 및 탐사 작업을 통하여 해당 위치가 사전에 확인되고, 표준 지보패턴에 보조공법이 추가될 수 있다. 그럼에도 불구하고 이 구간들은 일반 위험 시나리오와 달리 위험구간을 만나기 전부터 위험을 만날 때까지 지속적인 긴장감을 조성한다. 또한 위험구간

을 만나서 당초 계획에 반영되지 않은 기술관리 측면에서의 대응 조치들이 필요하면 프로젝트관리 측면에서 목표 달성에 심각한 위협을 주게 된다.

이에 상기의 6가지 특정 위험 시나리오에 대하여 계획단계로부터 시공단계에 걸쳐 일반 위험 시나리오와 같이 프로젝트 통합관리 측면에서 예비(Reserve) 개념을 적용하고자 한다. 여기서 일반 위험 시나리오에서는 그 대응 조치들이 사전 예측 및 대응이 가능하여 공사비 및 공사 기간을 미리 반영시킬 수 있는 반면, 특정 위험 시나리오에서는 일반 위험 시나리오의 대응 조치뿐만 아니라, 실제 위험이 발생했을 경우 추가적으로 요구되는 시나리오를 반영하도록 예비 개념을 도입할 것이다. 실제 프로젝트는 다양한 이해당사자가 함께 수행한다는 점을 감안하면, 예상되는 위험에 대한 대비와 발생한 위험을 객관적이고 시스템에 입각하여 계약조건에 따라 변경관리(Change Management)를 얼마나 신속하게 수행하느냐는 프로젝트 목표 달성에 있어서 핵심적인 열쇠를 제공하는 요소라고 할 수 있다.

3. 위험 시나리오를 관리하기 위한 프로젝트 관리요소

일반 및 특정 위험 시나리오는 조사 및 탐사를 통해 규명된 지반조건에 따른 설계패턴에 맞춰 직접적인 기

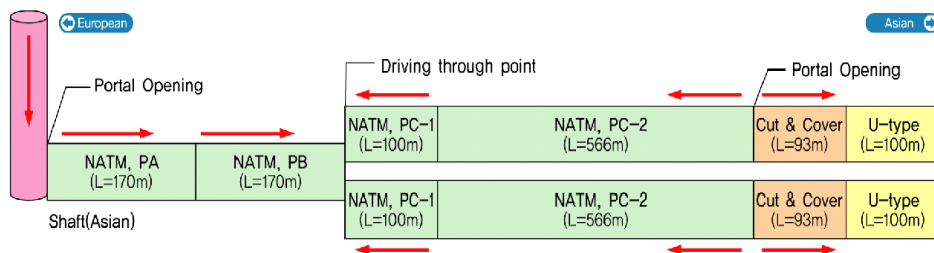


Fig. 3. Overview of NATM tunnel excavation plan

Table 2. Risk scenarios for a subsea tunnel

Type	Characteristics of the scenario	Concept
RS1	<p>Flat ground + potential inflow</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base rock is a flat terrain - No or very thin sedimentary layer - Very discontinuous rock mass - Discontinuity without filling materials - Favorable magnitude and direction of in-situ stresses to seawater inflows 	
RS2	<p>Valley-form ground + excavation instability</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base rock having a valley-form - Thin overburden rock above tunnel - Relatively weak and thick sedimentary layer - In-situ stresses against tunnel stability 	
RS3	<p>Valley-form ground + excavation instability + potential inflow</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base rock having a valley-form - Thin overburden rock above tunnel - Very discontinuous rock mass above tunnel - Thin sedimentary layer or high permeability - In-situ stresses against tunnel stability 	
RS4	<p>Front weakness zone + excavation instability + potential inflow</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weakness zone or fault ahead of tunnel face - Size and location of weakness zone, affecting excavation stability - Strength of materials of weakness zone - Potential inflow through weakness zone 	
RS5	<p>Fracture zone due to dike intrusion + potential inflow</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generation of fracture zone at intrusive contact area - Channelling of opened and unfilled space in fracture zone 	
RS6	<p>Upper weak horizontal sedimentary layer + excavation instability</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weak horizontal layer such as sedimentary rock exists above tunnel 	

술관리가 수행된다. 이에 위험 시나리오 구성에서 제시된 바와 같이 기술 관리요소를 프로젝트 통합관리로 연계 및 접촉하도록 관리요소를 도출하였다.

프로젝트 관리요소는 계획단계에서 일반 및 특정 위험 시나리오에서 규명된 기술 관리요소에 대하여 위험 비용 및 기간을 적절하게 계획하고 배정하는 것에서 시작한다. 또한 관련된 기술과 관리요소 항목이 시공단계에서 계획대로 제대로 시행되고 있는 지를 모니터링, 분석 및 예측할 수 있는 도구로서 프로젝트 일정(Project Schedule)을 갖추어야 한다. 그리고 일반 및 특정 위험 시나리오를 포함한 다양한 위험요인들을 체계적인 분류체계에 근거하여 식별 및 취합할 수 있도록 코드를 체계화하여 조기에 위험을 감지하는 단계별 조기경보 시스템(Early Warning System)을 구축해야 한다. 마지막으로 위험요인이 실제 발생할 경우에 대비하여 기술적인 대응조치와 함께 관리요소를 규명하여 위험 발생 시 변경관리시스템(Change Management System)에 맞춰서 프로젝트 목표(공사비, 공사기간)에 대한 심각한 훼손이 최소화하도록 적절한 승인절차를 신속하게 진행해야 한다.

이상으로 프로젝트 관리요소에 대하여 개괄적인 도출을 시도하였으며, 도출된 관리요소별로 검토한 상세한 결과는 다음과 같다.

3.1 위험 비용 및 기간(Risk Money & Period)의 확보 및 배정

프로젝트 공사비를 견적할 때 시방서 또는 수량상 명확하게 파악하는 것이 어렵지만 반드시 공사비용으로서 발생이 예측되기 때문에 설계, 자재, 시공의 각 항목에 일정 인자를 곱하여 견적금액에 산입하여 예비비(Allowance) 또는 예비수량으로 확보해야 한다.

따라서 본 연구에서는 일반 위험 시나리오와 특정 위험 시나리오가 적용되는 해저터널에서 프로젝트 특성을 고려하여 결정된 인자를 투입 수량 및 기간에 곱하여 반영할 계획이다. 예를 들면, 최초 견적 수량 및 공기를 각각 A와 B로, 인자를 α 라고 할 때, 예비 수량 및 공기는 각각 $A \times \alpha$, $B \times \alpha$ 가 되며, 최종 수량 및 공기는 각각 $A \times (1 + \alpha)$, $B \times (1 + \alpha)$ 가 된다. 또한 위험이 발생할 경우에는 별도의 설계변경(Change order) 또는 컨던전시(Contingency) 항목으로 반영할 예정이다.

3.2 프로젝트 일정(Project Schedule) 수립

위험 시나리오에 대한 현황을 제대로 파악하기 위해서는 무엇보다도 기술/관리요소에 대한 모니터링, 분석과 예측이 지속적으로 수행되어야 한다. 그렇다면 어떠

한 방법을 통하여 모니터링이 이루어져야 하는가? 바로 계획과 실적을 일정 기간마다 정기적으로 모니터링하고 이에 대한 분석과 예측이 진행되어야 가능하다. 바로 이러한 계획과 실적에 대한 자료가 담기는 그것이 프로젝트 일정이다. 최신 프로젝트 관리는 프로젝트 일정을 통하여 공사비, 공사기간, 조직, 리스크, 문서 등이 통합되는 추세이다. 따라서 프로젝트 일정을 활용한 통합관리를 기반으로 조기경보제 및 변경관리시스템을 필요한 시기에 적절하게 시행할 수 있다.

3.3 조기경보제(Early Warning System)의 구축 및 활용

앞서 언급한 바와 같이 프로젝트 일정에는 프로젝트 통합관리가 가능하도록 조직, 자원, 리스크, 문서 등이 활동(Activity)에 연계되도록 속성(Attribute)으로 부여된다. 속성은 다시 개별적으로 코드(Code)로 분류되어 속성별로 단계별로 그룹화가 되도록 해야 한다. 예를 들면 조직의 경우는 조직분류체계(OBS; Organization Break-down Structure)로 5개 레벨로 분류되며, 자원의 경우는 자원분류체계(RBS; Resource Breakdown Structure)로 적절한 레벨로 분류된다. 리스크의 경우도 유사한 분류체계를 갖고 분류할 수 있다.

이들 속성들이 당초 계획대로 진행되는지의 여부는 계획 대비 실적 자료로부터 판단되는데 2가지 요소에 기반하고 있으며, 이를 EVM(Earned Value Method)에 의한 관리라고도 한다. 즉 CPI(Cost Performance Index)와 SPI(Schedule Performance Index)로 나타나는 분석치를 통하여 비용 초과 및 공기 지연이라는 정량적인 판단을 내린다. 즉, CPI와 SPI가 1 보다 크면 프로젝트는 목표를 달성하고 있으며, CPI와 SPI가 1 보다 작으면 프로젝트 목표가 위협받고 있음을 나타낸다.

정량적인 지표를 이용하여 계획 대비 실적을 단계적으로 그룹화하면 단계적인 조기경보제의 입력자료로 활용할 수 있다. 예를 들면, 경보 발령을 위한 1 단계로 $0.9 < SPI/CPI < 1$ 로 하여 해당 작업의 조직에 대하여 경고 1 단계를, $0.8 < SPI/CPI < 0.9$ 에서는 경고 2단계, 그리고 0.8 이하에서는 경고 3단계로 설정하여 직접적인 조치를 취하도록 활용할 수 있다.

3.4 변경관리시스템(Change Management System) 운영

누적된 요소 또는 돌발적인 상황으로 인하여 프로젝트 목표가 도저히 달성할 수 없거나 발주자의 요구로 프로젝트 목표가 변경되는 경우 프로젝트에서는 변경관리시스템을 운영하여 수립된 계획을 변경하고 승인을 받아야 한다. 이와 같은 변경관리를 위해서는 변경요소로 인한 프로젝트 목표(공사비, 공기)에 미치는 영

향을 분석하고, 이 결과가 프로젝트 일정에 반영되어야 한다. 만약 상황 발생후 변경 승인을 추진하게 되면 짧은 시간에 걸쳐 심도 있는 검토 및 분석이 곤란하다. 따라서 특정 위험 시나리오와 같이 중대한 상황 발생시 프로젝트에 심각한 위해를 가하는 경우는 가급적 신속하게 변경 절차를 진행해야 한다.

4. 프로젝트 공정계획(Project Schedule)의 수립

4.1 파일럿 프로젝트의 선정

본 연구는 해저터널에 대한 위험 시나리오를 관리하는 기법 연구임을 감안하여 실제 계획되어 있는 해저터널을 파일럿 프로젝트로 선정함으로써 현장성과 사실성을 확보하였다. 이와 같이 실제로 계획된 프로젝트를 선정한 이유는 다음과 같다.

- 프로젝트 목표(공사기간, 공사비용, 공사품질)가 정해져 있어 위험 시나리오의 발생 전후에 목표에 미치는 영향이 정량적으로 도출되어야 하고,
- 프로젝트 기술요소가 규명되어 있어 위험 시나리오

의 사실적인 시뮬레이션이 가능해야 하기 때문이다.

4.1.1 프로젝트 개요

본 프로젝트는 총 연장 14.3 km로써, Fig. 4에서 보는 바와 같이 총 3개 구간으로 구성되며, PART 1은 유럽측 도로 구간(L=5.4 km), PART 3는 아시아측 도로 구간(L=3.8 km), 그리고 PART 2가 양측을 연결하는 해저터널 구간(L=5.4 km)이다.

도로구간은 확폭구간과 신설구간으로 구성되며, 터널 구간은 Shield TBM 터널, NATM 터널, 그리고 BOX 및 U-type으로 구성되어 있다. 특히, Shield TBM 구간은 해저를 횡단하는 구간으로 프로젝트의 주공정(Critical Path)을 형성하는 매우 중요한 구간이다.

해저 터널구간(Part 2)은 개착터널, Shield TBM 터널과 NATM 터널로 구성되며, Shield TBM 터널 전후에 수직구 2개소가 위치한다. 개착터널은 유럽과 아시아 측에 모두 위치하며, NATM 터널은 아시아 측에만 계획되어 있다.

해저구간의 지질특징은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 중앙부에 연약한 지반이 발달해 있다. 연약 지반은 심해

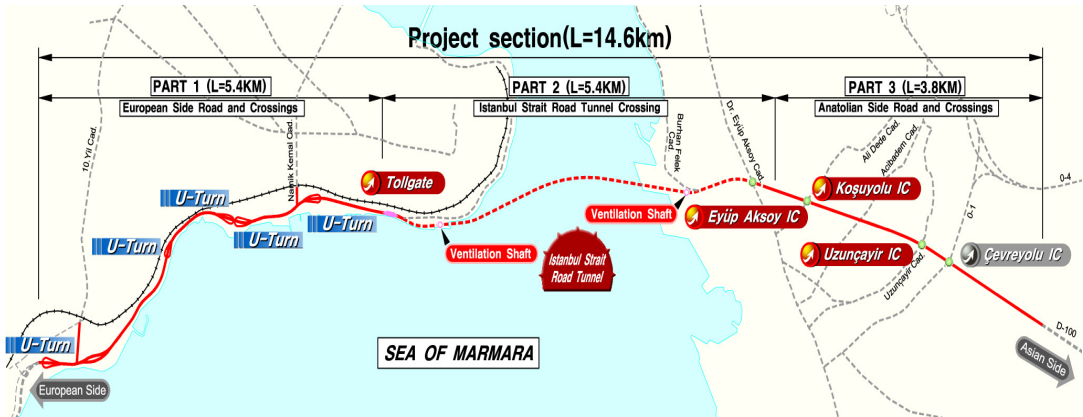


Fig. 4. Status of the pilot project

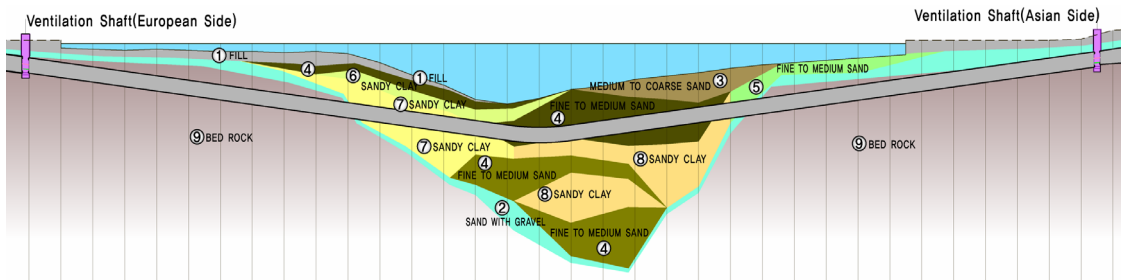


Fig. 5. Geological condition of the subsea tunnel route

퇴적층으로 연장은 약 1.3 km 정도로 추정되며, 기반암은 Thrace Formation으로 구성되어 있다.

4.1.2 Shield TBM 굴착구간

Shield TBM 터널단면의 외경은 12.5 m, 세그먼트 두께는 550 mm, 터널형식은 복층터널이다. Shield TBM 장비 기종은 고수압 대응능력, 버력처리의 용이성, 커터 마모의 최소화 및 환경영향 최소화를 고려하여 Slurry type을 선정하였다. 장비 직경은 12.8 m, 굴착직경은 12.86 m이다. 헤드커터는 암반과 연약지반 굴착을 모두 고려하여 디스크커터와 Large special knife edge cutter를 적용하였다. 주요 특징으로 동시주입방식의 뒷채움 시스템을 구축하였으며, 고수압 구간 통과를 고려하여 비상테일실을 적용하였다. 또한, 파쇄대 구간에서 커터 교환시 막장 및 천단부 안정성 확보를 위해 Probe drilling을 이용한 그라우팅을 계획하였다.

4.1.3 NATM 굴착구간

NATM 터널은 단선병렬구간과 복층터널구간으로 구

성되며, 복층구간은 변단면으로 계획되어 있다. 패턴별로 4개의 표준단면을 설계하였다. 지보패턴은 전면접착식 록볼트(fully grouted rock bolt)에 강지보재로 H-steel과 Lattice girder를 적용하였다. 터널 굴진장은 도심지 천층 터널임을 감안하여 1.2~1.5 m로, 굴착은 drill & blast 공법을 적용하였다. 전방지질 예측방안으로 TSP 탐사를 계획하였다. 대단면인 패턴 PB 천단부 보조공법으로는 대구경 직천공 강관보강그라우팅을, 발파계획으로는 심발 공법으로 발파효율이 우수한 SUPEX-cut을 적용하였다.

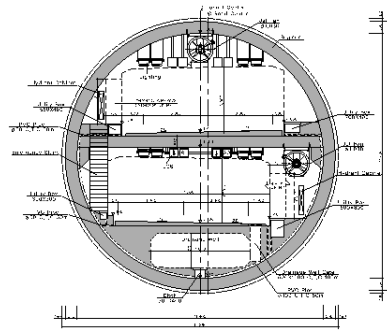
4.2 프로젝트 공정계획 수립

4.2.1 프로젝트 공정계획 수립 절차

프로젝트 공정계획에 적용된 관리 기법은 미국 PMI (Project Management Institute)의 PMBOK(Project Management Body of Knowledge)에서 기술된 프로세스 사이클의 기획 프로세스군(Planning Processes)을 적용하였으며, 프로젝트 관리도구로는 Primavera사의 P6(Pri-

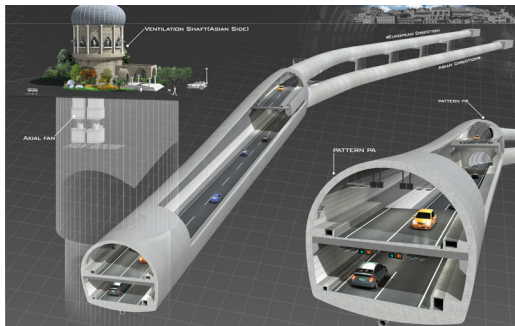


Shape of shield TBM

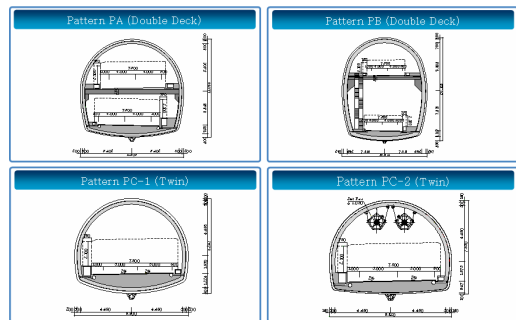


Typical tunnel section

Fig. 6. Shape and typical tunnel sections of Shield TBM



Shape of NATM tunnel



Typical tunnel section

Fig. 7. Shape and typical tunnel section of NATM

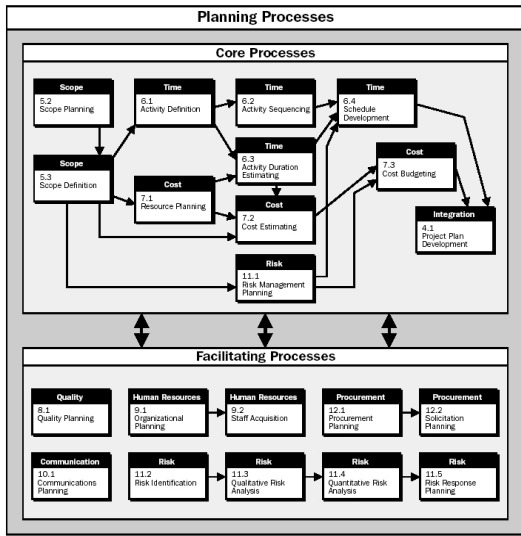


Fig. 8. Planning Processes(after PMBOK 2000, PMI)

mavera Project Planner)와 MS사의 Excel을 활용하였다. 프로젝트 목표(공기, 공사비, 품질 등)를 성공적으로 달성하도록 프로젝트 실행 및 통제 단계에서의 Baseline 및 Integration 역할을 하는 프로젝트 공정계획은 핵심 프로세스와 보조 프로세스를 거침으로써 프로젝트 관리 각 분야 간의 통합성 및 일관성을 갖는다.

프로젝트 계획은 다음과 같이 핵심 프로세스(Core Processes)와 보조 프로세스(Facilitating Processes)의 2단계로 나뉘어 수립되었다(Fig. 8).

- 1 단계: 핵심 프로세스는 업무 범위(Scope definition)와 활동 범위(Activity definition)를 규명하고 여기에 필요로 하는 자원과 비용을 산정하여 공기에 맞춰 배정하는 과정이며, 최종 결과물은 프로젝트 공정계획서이다.
- 2 단계: 보조 프로세스는 프로젝트 목표 관리에 필요한 품질(Quality), 인력투입(Human Resource), 구매(Procurement), 의사소통(Communication), 위험관리(Risk) 등의 각종 계획을 수립하는 프로세스이며, 1 단계에서 수립된 계획과 연계함으로써 일관되고 통합된 최종계획서가 되도록 하였다.

4.2.2 프로젝트 범위(Scope) 정의 및 작업분류체계(WBS) 수립

프로젝트 성과물을 좀 더 작고 관리 가능한 수준으로 세분하는 작업이며, WBS(Work Breakdown Structure)를 통하여 구현된다. WBS는 프로젝트 규모, 프로젝트 복잡도 등의 프로젝트 특성을 고려하여 관리가 용이하

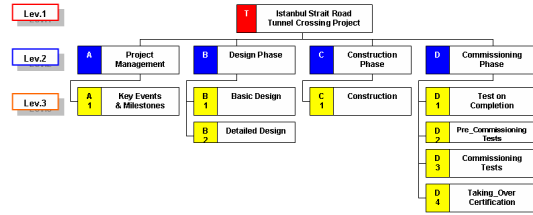


Fig. 9. Work Breakdown Structure(Level 4~Level 6)

게 적절한 수준으로 구성되며, 본 프로젝트에서는 WBS 구축기준을 수립하였으며, Fig. 9는 Level 4에서 Level 6에 해당하는 작업분류체계 구조도이다.

WBS 구축으로 성과물을 상세하게 규명한 후 이를 건설하기 위한 특정활동(Specific Activity)을 식별하고 Excel을 사용하여 활동명세서(Activity list)로 정리하였다. 활동명세서는 아래와 같은 Activity ID, Activity Description, Activity Duration, Code system 등의 정보가 포함된다(Table 3).

4.2.3 프로젝트 작업로직(Logic)

작업로직은 다음과 같은 연관관계를 활용하여 설정하였으며, 공정관리용 Software인 P6를 사용하여 Network Diagram으로 표현하였다. Network Diagram을 작성하는 방법으로는 PDM(Precedence Diagramming Method)과 ADM(Arrow Diagramming Method)이 있는데, 활동 간의 복잡한 관계를 고려할 때 단순한 F-S(Finish-Start) 관계를 나타내는 ADM보다는 4가지 관계를 설정할 수 있는 PDM이 유용한 것으로 판단되었다.

- 강제적 의존관계(Mandatory dependency)

활동들 간에 필연적으로 정해진 순서를 갖고 있는 의존 관계로 예를 들면, 수직구 굴착 → Shield TBM 반입/조립 → Shield TBM 초기/정상/도달 굴진로 진행되는 Fig. 10과 같다.
- 분별적 의존관계(Discretionary dependency)

이전 프로젝트를 수행하여 얻은 Lessons learned, 경험 지식, 시뮬레이션 등으로 선택된 의존관계로 예를 들면, Fig. 11과 같이 구조물 시공시 3단계 설치를 계획하였다.
- 외부 의존관계(External dependency)

프로젝트 착공 전에 수행하는 환경영향 검토, 각종 작업과 관련된 인허가 취득 등과 같이 프로젝트 목표를 직접 수행하는 활동은 아니지만 거쳐야 하는 의존관계를 말한다.

Table 3. Activity list

WBS System			ACT. ID	Activity Description	Code System					
Lev4	Lev5	Lev6			Lev4	Lev5	Lev6			
Part2_Tunnel Crossing (KM=5+400~10+800)	Shaft (KM=6+127.2~150, KM=9+490~510)	Starting (KM=6+127.2~150, Dia.=22.8 m)	2B010400	SCW_2 shift	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010410	Guide Wall	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010420	Surry Wall	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010430	H-pile	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010440	Excavation_Soil	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010450	Excavation_Soft rock	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010460	Removal of Surry wall	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010470	Footing Con'c	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010480	Wall Con'c	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010490	Connection Box Con'c	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010500	Slab Con'c	C2B	C2B2	C2B21			
			2B010510	Installation of Ventilator & Backfill	C2B	C2B2	C2B21			
					Arriving (KM=9+490~510, Dia.=20.0 m)	2B020520	SCW_2 shift	C2B	C2B2	C2B22
						2B020530	Guide Wall	C2B	C2B2	C2B22
2B020540	Surry Wall	C2B				C2B2	C2B22			
2B020550	H-Pile	C2B				C2B2	C2B22			
2B020560	Excavation_Soil	C2B				C2B2	C2B22			
2B020570	Excavation_Soft rock	C2B				C2B2	C2B22			
2B020580	Footing Con'c	C2B				C2B2	C2B22			
2B020590	Wall Con'c	C2B				C2B2	C2B22			
2B020600	Connection Box Con'c	C2B				C2B2	C2B22			
2B020610	Slab Con'c	C2B				C2B2	C2B22			
Part2_Tunnel Crossing (KM=5+400~10+800)	TBM_Shield (KM=6+150~9+490)	Shield TBM (3,340 m)	2C020630	Reinforcement of stratum boundary_EU.	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020640	Reinforcement of stratum boundary_AS.	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020650	Abutment test wall & Portal reinforcement	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020660	Carry in & Assembly of TBM	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020670	Start excavation_114 m	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020680	Site1_linear section_1,486 m	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020690	Site2_inflection section_300 m	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020700	Site3_linear section_1,416 m	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020710	Arrival excavation_24 m	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020720	Disassembly & Carry out TBM	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020730	Floor concrete(4shift, 20 m)	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020740	Drainage Chamber(4shift)	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020750	1F Utility box(4shift, 20 m)	C2B	C2B3	C2B31			
			2C020760	Bracket(2shift, 40 m/span)	C2B	C2B3	C2B31			
2C020770	Deck plate_Fabrication(4shift)	C2B	C2B3	C2B31						
2C020780	Deck plate_installation(2shift, 15 m/day)	C2B	C2B3	C2B31						
2C020790	2F Utility box(4shift, 20 m)	C2B	C2B3	C2B31						
2C020800	Tunnel interior work(2shift, 20 m)	C2B	C2B3	C2B31						

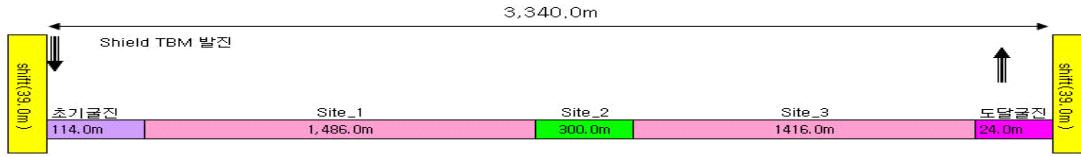
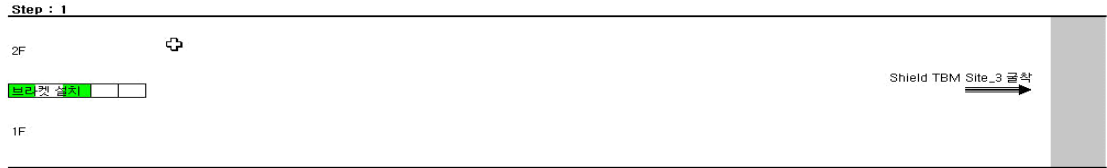


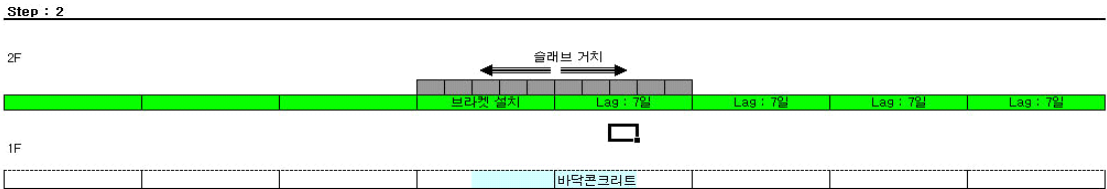
Fig. 10. Example of Mandatory dependency



(a) 1st Stage: Construction of Bridge Road Bracket



(b) 2nd Stage: Construction of Bridge Road and Base Concrete



(c) 3rd Stage: Construction of Drainage Well and Utility Box

Fig. 11. Example of Discretionary dependency

4.2.4 프로젝트 공사기간 산정

공사기간은 적산자료의 활용, 전문업체로부터 견적, 그리고 유사한 활동을 수행한 담당자로부터의 의견 등을 토대로 산정하였으며, 그 결과를 활동명세표의 Activity Duration에 연결시켰다. 특히, Shield TBM 굴착에 대한 공사기간은 다음과 같은 방법을 적용하여 산정하였다.

- 굴착 작업: 기 수행된 유사 프로젝트들로부터 획득된 적산자료로부터 Cycle Time을 도출하고 기본 설계 Data를 접목시켜 활동기간을 산정하였다. 그리고 Cycle Time의 추정 근거로 투입 장비와 인력에 대한 조합 분석을 하였다.
- 굴착 이외 작업: Cycle Time이 적용되지 않는 활동들에 대해서는 시공순서도를 작성하여 활동기간을 산출하거나, 전문업체의 시공방법 등을 참고로 하여 활동기간을 산출하였다.

공사기간 산정과 관련된 작업은 Excel에서 수행하여 향후 공정전문 Software인 P6와 쉽게 연계될 수 있도록 함으로써 다양한 Factor의 변화가 프로젝트 공기에 끼치는 영향을 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다. 또한 실제 작업에 대한 개시일(Start date)과 종료일(Finish date)을 설정하기 위하여 프로젝트가 수행되는 터키에서의 공휴일·명절과 우기 등의 작업불능일(Non-working days)을 조사하였으며, 지상 또는 지하 작업 등 작업조건이 상이한 공종을 고려하여 작업가능일수(Working days)를 적용하기 위하여 다음 Table 4와 같은 Multi-Calendar를 구축하였다.

4.2.5 프로젝트 공정계획

프로젝트 공정표로부터 여유시간(Float Time)을 분석한 결과, 예상되는 위험 시나리오 구간의 터널굴착을 포함하여 여유시간이 “0”인 주공정은 다음 Fig. 12와 같다.

Table 4. Multi-Calendar

No.	Calendar code	working days	Work item	Remarks
Multi_cal. 1	TIPC-1	7 days/week	Approval, design	30 days/month
Multi_cal. 2	TIPC-2	6 days/week	Tunnel	26 days/month
Multi_cal. 3	TIPC-3	6~7 days/week	Tunnel	26 days/month
Multi_cal. 4	TIPC-4	TIPC-2+off day+holiday	Earth, Temporary, Appurtenant	
Multi_cal. 5	TIPC-5	TIPC-4+raining	Drainage	
Multi_cal. 6	TIPC-6	TIPC-4+rainy season	Structure, Paving	

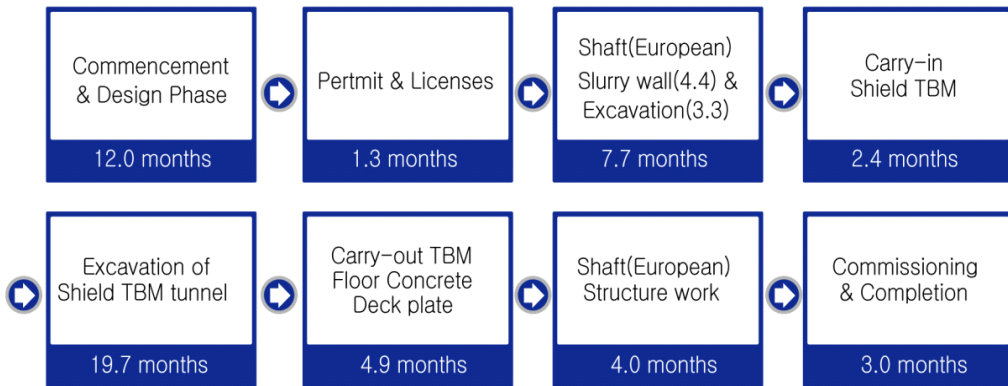


Fig. 12. Critical Path Diagram

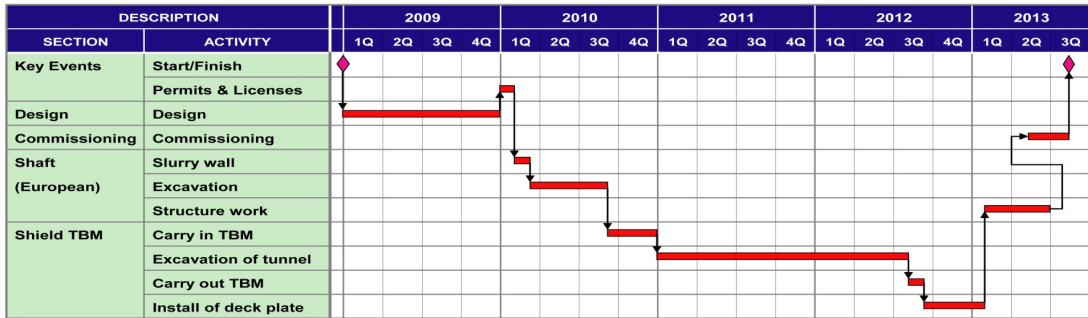


Fig. 13. Critical Path Schedule

따라서 주공정을 구성하는 작업들로부터 지연이 발생하게 되면, 예를 들면 위험 시나리오로 인한 공기지연이 발생할 경우에는 바로 전체 공사기간의 지연이 발생하는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 프로젝트 수행에 있어서 원천적인 리스크를 규명하고 관리하는 기술관리(설계관리 포함)와 함께

프로젝트 목표를 성공적으로 달성하기 위하여 이러한 기술관리를 통합관리로 연계 및 접목시키기 위한 통합관리의 접근 방법을 제시하고자 하였다.

- 1) 위험 시나리오의 구성 및 프로젝트 관리요소의 도출
먼저 위험 시나리오에 대하여 일반 구간과 특정 구간으로 분류하는 2 가지 측면의 위험 시나리오 개념을 도입하였으며, 이러한 위험 시나리오를 프로젝트 통합관리 측면으로 연계하기 위한 관리요소를 도출하였다.

2) 프로젝트 일정의 수립 및 변경관리시스템의 구축
 실제 위험 시나리오를 시뮬레이션 할 수 있도록 파일럿 프로젝트를 선정하여 프로젝트 일정을 수립하였다. 그 결과 위험 시나리오는 속성 중 하나인 리스크 분류 체계에 따라 체계적으로 구분되어 프로젝트 일정에 반영될 것이며 조기경보시스템을 통해 프로젝트 운영단계에서 체계적이고 과학적으로 관리될 것이다. 또한 위험 시나리오가 실제로 발생할 경우에는 신속하게 프로젝트 목표에 미치는 영향을 분석하여 반영될 수 있도록 변경관리시스템이 구축될 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호: 05-건설핵심 D10, 과제명: 해저시설물 차폐기술개발)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Nilsen, B., Palmstrøm, A., 2001, Stability and water leakage of hard rock subsea tunnels, Modern Tunneling Science and Technology, pp.497-502.
2. Blindheim, O. T, Øvestedal, E., 1992, Water control in sub sea road tunnels in rock, Norwegian Subsea Tunnelling Publication No. 8, pp.35-42.
3. PMI Standards Committee, 2000, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMI
4. Sidney M. Levy, 2000, Project Management in Construction, McGraw-Hill
5. 한국기술용역협회, 1985, 엔지니어링(Project Management) 용어 사전



박 의 섭

1989년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1991년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 2000년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사
 Tel: 042-868-3098
 E-mail: espark@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 선임연구원



신 희 순

1976년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1978년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1986년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사
 Tel: 042-868-3240
 E-mail: shinhs@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 책임연구원



신 용 훈

1985년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 Tel: 02-576-4163
 E-mail: yhshin@bcmkorea.com
 현재 (주)비씨엠피 대표이사



김 택 곤

1992년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1994년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1999년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사
 Tel: 02-3700-7295
 E-mail: tkkim@skec.co.kr
 현재 SK건설 GEOTASK팀 부장