

# 시스템 다이내믹스를 이용한 터널공사비 모델 개발

## Development of Tunnel Construction Cost Model Using System Dynamics

박용우\*, 박희성\*\*

한국철도공사\*, 한밭대학교 토목공학과\*\*

Yong-Woo Park(ppakyongs@nate.com)\*, Hee-Sung Park(jackdaniel@hanbat.ac.kr)\*\*

### 요약

도로건설공사의 주요 구조물인 터널의 경우 건설지역, 지반 환경, 공법 등 다양한 변수에 의해 공사비가 결정된다. 그러나 NATM 터널 초기 공사비를 결정하기 위한 모델에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 논문은 시스템 사고를 활용하여 터널공사비 예측을 위한 모델을 제시하였다. 기존 문헌 조사를 통해 터널공사비의 영향요인을 파악하고 영향 요인간 상관관계를 고려하여 터널공사비 인과지도를 작성하였다. 그리고 터널공사의 내역서를 활용하여 터널 길이와 굴착량, 암질 등에 의한 터널공사비 변화정도를 분석하였다. 본 연구를 통해 다양한 영향요인을 고려한 NATM 터널공사비 예측에 대한 대안을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

■ 중심어 : | 시스템 다이내믹스 | 터널 | 공사비 |

### Abstract

Construction cost of tunnel is decided on construction area, site conditions, and construction methods. However, there is few research on developing models to estimate early construction costs. Therefore, this paper presents a model for early estimation tool for NATM tunnel using system thinking. The effect factors for tunnel construction cost were defined and the causal map is developed. Then empirical case analysis were performed to identify the cost difference due to tunnel length, excavation volume, and rock quality. The proposed model would be an alternative to estimate early construction cost of NATM tunnel.

■ keyword : | System Dynamics | Tunnel | Construction Cost |

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

자동차 문명의 발달로 급격하게 늘어나는 도로 건설에 있어서 다양한 요구를 수용하기 위해 도로의 본래 기능을 충실히 할 수 있도록 도로 사업을 효과적으로 추진하는 것이 중요하다. 즉 도로사업의 효율적 계획과

사업추진을 위해 투입된 비용 변화의 주요 요인을 규명하여 예산의 적정성을 도모하고 비용결정 의사결정의 합리성을 제고할 필요가 있다.

이런 시대적 요구에 부응하고 적절한 투자를 위해 초기단계에서의 정확한 공사비 예측이 필요하다. 특히 우리나라와 같이 산악지형이 많은 경우 터널이 도로의 많은 비중을 차지하고 있어 터널공사비 예측이 중요하다.

\* 본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No.2009-0073838)

접수번호 : #111118-004

접수일자 : 2011년 11월 18일

심사완료일 : 2011년 12월 26일

교신저자 : 박희성, e-mail : jackdaniel@hanbat.ac.kr

그러나 터널공사비 계산 시 단순히 단위 길이 당 공사비를 계산하는 수준에 있어 정확한 공사비 예측이 어렵다. 따라서 초기 도로 공사비 예측에 있어서 비중이 큰 토공공사비와 구조물 공사비 중 공사비 예측에 많은 영향을 미치는 터널공사비 예측모델 개발을 본 논문의 목표로 하였다.

본 논문은 NATM 터널을 대상으로 시스템 사고를 통해 터널 공사비 영향 요인들을 분석하여 인과지도를 작성하였다. 그리고 영향요인간 상관관계를 도출하여 기존의 터널공사비 내역서를 분석하여 공사비 시뮬레이션 모델을 제시하였다.

공사비 영향 요인들은 터널공사의 주공종인 토공과 공사비에 가장 영향을 미치는 공사기간에 중점을 두어 요소들을 분석하였으며 그 외 정량적, 정성적 요인들 모두 포함하여 조사하였다. 터널공사의 주요변수 도출은 터널공사와 관련된 기존 연구 문헌과 기준에 수행한 4개 현장의 공사비 내역서 등을 통하여 조사하였다.

## 2. 연구 동향

본 논문은 시스템 다이내믹스를 이용하여 터널공사비에 영향을 미치는 요인을 제시하기 위해 기존 연구문헌을 고찰하였다. 도심지 지하철에 적용된 NATM 터널의 전 공정을 대상으로 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 활용한 공정계획 수립과 공정 분석이 가능하도록 한 연구의 경우 이를 위해 각 작업별로 확률분포를 활용하여 데이터 변동성을 반영하였다. 그러나 이 연구에서는 갱도내 천공, 장약, 발파, 버력처리 등의 작업은 고려하였으나 압질, 터널의 규모 등은 반영하지 않았다 [1]. 그리고 다른 연구는 표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발[2], 터널 공사비에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구[3] 등이 있다. 또한 시뮬레이션을 활용하여 아파트 건설공사의 견적을 수행한 연구[4]와 시뮬레이션 모델링을 통한 NATM 터널공정 생산성 향상 분석[5], 장비운영 데이터를 활용하여 버력처리 시스템의 사이클타임을 결정하는 주요 요인을 분석한 연구가 있다[6].

국내의 터널공사 관련 연구는 주로 NATM 공법에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 아직도 확정적인 터널

공사비 시뮬레이션 모델이나 결과 지표가 없고 단기적인 연구 수행결과 발표나 앞으로도 지속적인 분석이나 자료 수집을 해야만 하는 실정이다. 전체적인 터널공사에 대한 기준이나 시스템적인 결과를 확립하기 위해서는 모든 공정 분야나 직접, 간접적인 모든 요소들을 포함하는 자료가 필요하다. 그러나 터널공사에서 사업수행 중이나 혹은 그 전 후로 발생할 수 있는 위험 요소들을 파악하기는 어려운 실정이다.

따라서 미리 이러한 각종 요소들을 분석하고 예측하기 위한 모델을 개발하여 사업에 활용하였을 때 그 효과는 크다고 할 수 있다. 특히 터널, 항만, 댐 등과 같은 많은 물량과 시간, 기술을 필요로 하는 작업을 반복을 통해 수행되어질 경우 공사기간이나 공사비 등을 최적화하기 위한 도구로 활용할 수 있다.

## 3. 시스템 다이내믹스(System dynamics)

시스템 다이내믹스는 1961년 Forrester가 산업체 재고량과 노동력의 불안정한 변화, 시장점유율의 감소문제들을 다룬 산업동태론을 발표한 후 기업경영, 공공정책, 공학, 그리고 각종 인간의 의사결정행위에 대한 이해와 문제 해결을 위한 독특한 시각과 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다. 즉, 현상을 이해하고 설명하거나 이러한 이해에 기초한 모델을 구축하여 복잡한 인과관계로 구성된 현상이 어떻게 동태적으로 변해 나가는지를 시험해 보는 방법론이다[7]. 시스템 다이내믹스는 통계적 요인분석을 보완하기 위한 연구[8]와 GIS 기반 최적공간 선정을 위해서 활용되는 등 다양한 분야 연구에 적용되고 있다.

본 논문에서 시스템 다이내믹스를 이용하는 이유는 현장에서 토공계획 및 장비계획 수립 시 주어진 입력 변수들의 값이 변화되는 상황에서도 기존의 인과지도를 바탕으로 하여 단시간에 결과치를 얻을 수 있으며, 인지가 손쉬운 도식화된 방식으로 산출되기 때문이다.

## II. 터널공사비 인과지도

### 1. 터널공사비 영향요인

본 논문은 NATM 터널의 공사비가 다양한 요인에 의해서 결정되어 지는 것을 규명하기 위해서 먼저 기존 연구 문헌 분석을 통해 [표 1]과 같은 터널공사비에 영향을 주는 요인을 분석하였다.

표 1. 터널공사비 영향 요인

구분	영향 요인
터널 공사비	Cycle Time, 노무비, 자재비, 장비 임대비, 물가상승, 용지 보상비용, 토공, 안전사고, 공사관리팀의 경험/기술, 암질, 공기지연
Cycle Time	토공, 터널연장, 터널의 모양/길이, 기후조건, 적절한 입지 선정, 암질, 터널의 모양 및 길이, 설계, 운반거리
토공	굴착공법/방법, 발파방식, 천공방법, 버력 상차용 로우더의 장비 용량, 버력의 단위중량, 토량환산계수, 기폭장치, 덤프 트럭 적재용량, 지하수위, 사토장 및 부대시설물 위치, 지장물, 현장 조건, 기후 조건, 작업자 기술, 공사관리팀의 경험/기술, 보조공법, 지반 조사, 생산성, 안정성, 경제성, 시공성, 굴착단면의 크기와 형상, 주변 환경영향, 막장의 자립성 등

기존 연구들은 생산성과 적용성에 대한 연구와 세부적인 공중에 따른 연구가 많았다. 따라서 터널공사의 전체적인 흐름에서 터널공사비에 영향을 미치는 모든 부분을 고려한 영향요인들에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 논문은 모든 요인들을 포함하여 그 중 비중이 가장 큰 토공과 Cycle Time, 전체 터널공사비의 인과지도를 작성하였다.

## 2. Cycle Time 인과지도

[그림 1]과 같이 터널공사의 Cycle time에 영향을 미치는 요소간의 상관관계를 고려하여 인과지도를 작성하였다.

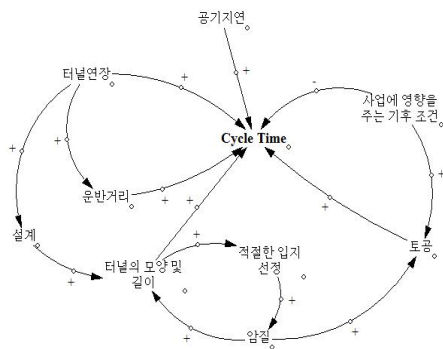


그림 1. Cycle time 인과지도

Cycle time에 영향을 주는 대표적인 요소들은 공기지연과 기후조건, 토공, 터널의 모양 및 길이, 터널 연장으로 Cycle Time은 공사비와 더불어 터널공사를 포함한 건설사업의 경제성에 있어 중요한 요소이다. 공기는 아직까지 정량적으로 파악하기 어려운 실정이나 공사비의 중요한 영향요인으로 알려져 있고 공기단축을 위한 공법 개발 및 건설사업 관리의 노력이 필요하다.

## 3. 토공의 인과지도

터널공사에서 토공의 비중이 가장 크며 토공의 영향 요인들도 많았다. 아래 [그림 2]와 같이 터널 토공의 경우 굴착공법, 발파방식, 천공방법, 장비, 공사현장 조건, 작업자의 숙련도 등에 의해 공사비가 상이한 것으로 나타났다.

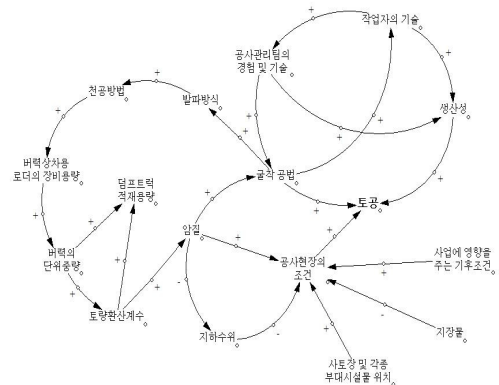


그림 2. 토공의 인과지도

## 4. 터널공사비 인과지도

위의 각 요인들을 종합하여 아래 [그림 3]과 같은 인과지도를 제시하였다. 지금까지 터널에 적용되는 다양한 공법 및 시공 조건에 따라 Cycle Time과 공사비에 어떠한 형태의 영향을 미치는지에 대한 연구가 미흡하고 관련 자료의 부족으로 터널공사 각 단계에서 공사비 추정 및 설계 실무에서 다양한 공법과 시공조건이 공사비와 공기에 미치는 영향을 예측하는데 어려움이 많았다.

또한 Cycle Time에 영향요소들이 터널공사비에 대한 전체적인 인과지도를 만들었을 때 다른 요인에도 영



표 2. 현장별 공사비 세부사항

구분		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	TYPE-6	합계	평균 공사비	구성비 (%)	
A	토공	굴착	0	182,804,011	35,075,651	14,859,180	36,933,294	-	269,672,136	53,934,427	29
		버력처리	0	161,414,033	30,737,457	10,982,412	14,198,646	-	217,332,548	43,466,510	23
		소계	0	344,218,044	65,813,108	25,841,592	51,131,940	-	487,004,684	97,400,937	52
	지보공	숏크리트	0	66,569,148	65,813,108	11,264,265	17,013,266	-	160,659,787	32,131,957	17
		락볼트	0	5,469,046	18,366,348	1,261,499	2,458,346	-	27,555,239	5,511,048	3
		격자 지보공	0	0	0	1,489,128	2,844,710	-	4,333,838	866,768	0
	구조물공	소계	0	72,038,194	84,179,456	14,014,892	22,316,322	-	192,548,864	38,509,773	20
		라이닝 콘크리트	0	183,004,072	33,108,325	14,649,702	18,224,228	-	248,986,327	49,797,265	26
		방,배수	0	12,761,266	1,823,038	911,519	1,184,975	-	16,680,798	3,336,160	2
	소계	0	195,765,338	34,931,363	15,561,221	19,409,203	-	265,667,125	53,133,425	28	
구성비(%)	0	65	20	6	10	-	100				
B	토공	굴착	574,747,120	307,449,948	138,963,969	24,332,414	128,621,184	227,585,183	1,401,699,818	233,616,636	38
		버력처리	222,679,525	115,295,610	36,194,202	5,953,901	24,482,882	37,648,582	442,254,702	73,709,117	12
		소계	797,426,645	422,745,558	175,158,171	30,286,315	153,104,066	265,233,765	1,843,954,520	307,325,753	50
	지보공	숏크리트	199,564,224	103,450,572	54,207,368	9,189,050	49,422,832	74,159,254	489,993,300	81,665,550	13
		락볼트	19,699,805	38,988,075	40,291,258	5,539,182	28,774,875	51,794,775	185,087,970	30,847,995	5
		격자 지보공	0	0	0	4,476,594	22,005,660	38,782,098	65,264,352	10,877,392	2
	구조물공	소계	219,264,029	142,438,647	94,498,626	19,204,826	100,203,367	164,736,127	740,345,622	123,390,937	20
		라이닝 콘크리트	397,973,978	206,093,574	71,955,084	9,771,678	39,086,712	60,406,737	785,287,584	130,881,264	21
		방,배수	158,010,060	81,826,638	28,568,783	3,879,711	15,518,845	23,983,670	311,787,708	51,964,618	8
	소계	555,983,858	287,920,212	100,523,867	13,651,389	54,605,558	84,390,407	1,097,075,292	182,845,882	30	
구성비(%)	43	23	10	2	8	14	100				
C	토공	굴착	147,108,920	10,012,128	40,880,439	0	0	15,590,284	213,591,771	35,598,629	22
		버력처리	61,635,600	4,078,620	11,646,810	0	0	23,016,796	100,377,826	16,729,638	10
		소계	208,744,520	14,090,748	52,527,249	0	0	38,607,080	313,969,597	52,328,266	33
	지보공	숏크리트	52,869,888	3,487,944	16,683,394	0	0	49,927,414	122,968,640	20,494,773	13
		락볼트	5,497,620	1,246,968	12,665,120	0	0	34,579,715	53,989,423	8,998,237	6
		격자 지보공	0	0	0	0	0	26,058,614	26,058,614	4,343,102	3
	구조물공	소계	58,367,508	4,734,912	29,348,514	0	0	110,565,743	203,016,677	33,836,113	21
		라이닝 콘크리트	121,547,510	7,841,775	25,485,768	0	0	46,070,427	200,945,480	33,490,913	21
		방,배수	144,872,273	9,346,598	30,376,444	0	0	54,911,265	239,506,580	39,917,763	25
	소계	266,419,783	17,188,373	55,862,212	0	0	100,981,692	440,452,060	125,843,446	46	
구성비(%)	56	4	14	0	0	26	100				
D	토공	굴착	0	0	45,009,230	135,848,056	962,397,360	158,159,460	1,301,414,106	216,902,351	39
		버력처리	0	0	11,433,690	34,484,025	189,821,674	27,021,308	262,760,697	43,793,450	8
		소계	0	0	56,442,920	170,332,081	1,152,219,034	185,180,768	1,564,174,803	260,695,801	47
	지보공	숏크리트	0	0	17,574,336	51,991,062	377,425,410	52,426,320	499,417,128	83,236,188	15
		락볼트	0	0	13,073,634	31,388,698	218,998,499	36,448,175	299,909,006	49,984,834	9
		격자 지보공	0	0	0	25,367,366	167,243,016	27,291,106	219,901,488	36,650,248	7
	구조물공	소계	0	0	30,647,970	108,747,126	763,666,925	116,165,601	1,019,227,622	169,871,270	31
		라이닝 콘크리트	0	0	30,513,297	69,608,458	375,694,967	53,398,269	529,214,992	88,202,499	16
		방,배수	0	0	11,442,128	26,102,355	140,881,204	20,023,724	198,449,412	33,074,902	6
	소계	0	0	41,955,425	95,710,813	516,576,171	73,421,994	727,664,404	207,904,115	22	
구성비(%)	0	0	4	11	73	11	100				

위의 [표 2]는 총 4개 터널현장의 공사 내역서 중 가장 비중이 큰 토공, 지보공, 구조물공 3가지를 선정하고 각 공사에서의 그 구성비를 나타내었다. 터널공사비 중 토공, 지보공, 구조물이 차지하는 비중은 각각 45.5%, 23%, 31.5%로 나타났다. 토공 공사비의 경우 최대 52%에서 최소 33%, 지보공은 최대 31%에서 최소 20%, 구조물공의 경우 전체공사비 중 최대 46%까지 차지하는 것으로 나타났다.

지반 종류에 따른 공사비를 분석한 결과 토공의 경우 type별 전체 공사비의 최대 51%에서 최소 39%까지 차지하고 있었다. 그리고 지보공 공사비의 경우는 type 1에서 type 6로 갈수록 전체공사비에서 차지하는 비중이 커지는 것으로 나타났다. Type 1의 경우 지보공 공사비 비중이 전체공사비의 12%였으나 type 6는 36%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 구조물 공사비의 경우는 지보공 공사비와 반대로 type 1이 43%로 가장 크게 나타났고 type 6가 25%로 감소하는 추세를 보이고 있다.

본 논문은 총 4개 현장을 선정하였지만 추후 연구를 더욱 보완하기 위해서는 더 많은 터널 현장 자료의 수집이 필요하다. 공사비 산출에 적용되는 실적단가를 기본으로 적용하고 실적단가가 없는 그 외의 공종들에 대한 단가는 원가계산에 의한 단가 산출을 하여 적용하였다. 원가 계산에 의한 단가를 구성하는 재료비, 노무비, 중기사용료의 적용 기준 및 단가산출 기준은 다음 [표 3]와 같다[3].

표 3. 단가산출 기준

구분	재료비	노무비	중기사용료
적용기준	3가지 시중 물가 정보지 기재단가 중 최저단가	대한건설협회 공사 시중노임단가	건설표준품셈 및 조달청 공사단가
수량 및 단가산출 기준	건설표준품셈 국도건설공사 설계실무 요령 도로 업무 편람		

### 1. 터널 길이와 굴착량에 따른 터널 공사비

4개의 현장에 대하여 터널 길이에 따른 터널 공사비 변동을 조사하였다. 아래의 [표 4]에서 보는 바와 같이 터널 길이가 증가함에 따라 그에 따른 공사비도 증가한다는 것을 확인할 수 있었다.

표 4. 터널 길이와 굴착량에 따른 터널공사비

구분	터널길이(m)	굴착량(m <sup>3</sup> )	총 공사비(원)
A	309	60,531	945,220,673
B	884	67,162	3,681,375,434
C	206	14,142	957,438,334
D	555	35,902	3,311,066,829

4개 현장 조사 결과 터널길이 1m당 공사비는 평균 4,459,266원으로 나타났으며, 굴착량 1m<sup>3</sup> 공사비는 평균 57,589원으로 나타났다.

터널연장이 증감하게 되면 그에 따른 버력 운반 및 각종 재료의 운반거리가 늘어나게 되고 작업자들의 터널 막장으로의 이동시간과 그에 따른 작업시간도 증가한다. 그리고 덤프트럭의 소요 대수도 늘어나 공사비가 증가하게 된다. 또한 토공 공중 공사비 구성상 노무비의 비율이 타 공중에 비하여 가장 높기 때문에 장대터널 할중에 의한 공사비 증감, 영향을 가장 크게 받는다는걸 알 수 있었다. 그리고 터널 공사에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 토공부분으로 나타났다. 터널공사에서 가장 많은 부분을 차지하는 것이 토공비라는 것을 알 수 있다.

### 2. 암질에 따른 터널 공사비

다음은 암질에 따른 공사비 변동사항을 조사하였다. 기존에 수행된 4개 터널공사를 살펴본 결과 보통암, 연암, 풍화암, 경암 등 총 4가지 암질로 이루어져 있었다.

표 5. 암질에 따른 공사비

구분	m <sup>2</sup> 당 평균공사비(원)
경암	39,719
연암	94,899
풍화암	84,011
보통암	106,833

암질에 따른 공사비 변동을 살펴보면 [표 5]과 같이 나타난다. 보통암을 굴착하는데 가장 많은 평균 공사비가 소요되고 경암이 가장 적게 소요 되었다. 이는 암질이 굴착의 용이성, 지보공의 종류와 수량 등에 영향을 주고 이는 공사비에 반영되는 것으로 판단된다.

표 6. 공사비 변동사항

구분	TYPE	굴착량 (m³)	토공비 (원)	토공+지보공 (원)	토공+지보공 +구조물공 (원)	m3당 토공비 (원)	m당 공사비	터널 길이 (m)	총공사비 (원)
A	Type-1	0	0	0	0	0	0	0	945,220,673
	Type-2	44,838	344,218,044	416,256,238	612,021,576	7,677	2,672,583	229	
	Type-3	7,877	65,813,108	149,992,564	184,923,927	8,355	4,623,098	40	
	Type-4	3,390	25,841,592	39,856,484	55,417,705	7,623	3,259,865	17	
	Type-5	4,426	51,131,940	73,448,262	92,857,465	11,553	4,037,281	23	
B	Type-1	34,049	797,426,645	1,016,690,674	1,572,674,532	23,420	3,510,434	448	3,681,375,434
	Type-2	17,628	422,745,558	565,184,205	853,104,417	23,981	3,677,174	232	
	Type-3	6,177	175,158,171	269,656,797	370,180,664	28,357	4,570,132	81	
	Type-4	824	30,286,315	49,491,141	63,142,530	36,755	5,740,230	11	
	Type-5	3,343	153,104,066	253,307,433	307,912,991	45,798	6,998,023	44	
	Type-6	5,141	265,233,765	429,969,892	514,360,299	51,592	7,564,122	68	
C	Type-1	8,533	208,744,520	267,112,028	533,531,811	24,463	4,302,676	124	957,438,334
	Type-2	564	14,090,748	18,825,660	36,014,033	24,984	4,501,754	8	
	Type-3	1,789	52,527,249	81,875,763	137,737,975	29,361	5,297,614	26	
	Type-4	0	0	0	0	0	0	0	
	Type-5	0	0	0	0	0	0	0	
	Type-6	3,256	38,607,080	149,172,823	250,154,515	11,857	5,322,436	47	
D	Type-1	0	0	0	0	0	0	0	3,311,066,829
	Type-2	0	0	0	0	0	0	0	
	Type-3	2,038	56,442,920	87,090,890	129,046,315	27,695	4,032,697	32	
	Type-4	4,698	170,332,081	279,079,207	374,790,020	36,256	5,134,110	73	
	Type-5	25,521	1,152,219,034	1,915,885,959	2,432,462,130	45,148	6,173,762	394	
	Type-6	3,645	185,180,768	301,346,369	374,768,363	50,804	6,692,292	56	

이러한 암질이 터널 공사비에 영향을 미치는 요인으로 나타난 이유는 터널의 굴착 방법에는 여러 가지가 있으며 각각의 방법에 따라 경제성과 시공성이 모두 다르기 때문에 현장여건과 지반조건을 모두 고려하여 적합한 굴착방법을 선정하여야하기 때문이다.

### 3. 터널공사비 영향 요인 분석

위의 자료를 바탕으로 하여 터널공사비에 대한 영향 요인들의 상관관계를 분석하였고 그를 바탕으로 하여 터널공사비의 구성요소와 그 세부사항에 대하여 조사, 분석하였다.

기존의 연구 문헌 자료와 기존에 수행된 4군데의 터널 공사 내역서 자료를 수집하여 영향요인들을 분석하여 [표 6]과 같은 결과를 나타내었다. 지반 type별 토공비의 경우 type 1에서 type 6로 갈수록 늘어나는 것으로 나타났다. 그리고 단위 길이 당 공사비도 동일한 추세를 나타내었다.

## IV. 결론

터널공사를 수행할 때 공사현장의 자연적 조건과 도심지 등에 위치 여부 등의 주변 환경적인 조건 등에 따라 그 공법선정과 시공방법, 그리고 재료선정 등 다양한 조합을 이루어 공사를 수행하고 있다.

본 논문은 기존 논문과 문헌을 조사 분석하여 터널공사비의 영향요인을 포함한 터널공사비 인과지도도를 제시하였다. 그리고 터널공사 수행에 있어서 공사비의 기본 구성과 터널공사비에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 분석하여 영향요인들의 상관관계와 그에 따른 공사비 변동에 대하여 제시하였다.

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 수행되어지고 있는 NATM 터널을 중심으로 하여 분석하였다. 토공, 지보공, 구조물공, 터널 보강공, 부대공으로 이루어진 공종에서 상대적으로 그 비중이 적은 부대공과 터널 보강공에 대한 영향요인은 공사비 분석 시에 제외하였다. 추후에 배수, 조명, 수전 설비 등의 부대공 부분과

터널 굴진 안정성, 지반 강도 및 차수목적을 위한 터널 보강공에 대한 부분을 추가하여 분석할 필요가 있다.

터널 공사비 구성에 있어 토공이 45.5%, 지보공이 23%, 구조물공이 31.5% 정도의 구성비를 보이며 토공이 가장 많은 구성비를 차지하였다. 또한 터널 길이와 길어짐에 따라 토공량이 증가하고 그에 따라 공사비도 늘어나는 것으로 나타나 터널 길이와 토공량이 비례관계에 있다는 것을 조사하였다.

그리고 암질의 종류에 따라 그 공사비가 다르게 나타났는데 4개의 현장 공사 내역을 비교한 결과 보통암이 가장 많은 공사비를 소요하였고, 경암이 가장 공사비가 적게 소요된 것으로 나타났다.

각 영향요인들을 분석한 결과 이 요인들이 각각의 연관뿐 아니라 다른 과정에 있어서도 영향을 미친다는 것을 볼 수 있었다. 또한 영향 요인들 중 정성적 요인을 정량적으로 변환하기 위한 기준 수립이 필요하다. 따라서 각 과정별로 영향요인들에 대한 상호관계를 파악하고 이 연구를 기초로 하여 인과지도를 정량적인 모델로 개발하여 시뮬레이션을 통해 조사한다면 터널 공사비 예측에 대한 객관성과 기준 확립에 이바지 할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이시욱, *시뮬레이션 기반 도심지 지하철 터널 공사 계획 모델 개발-NATM 공법을 대상으로*, 인하대학교 대학원, 2008.
- [2] 조정연, "표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발-공사비 영향요인 분석", *대한토목학회논문집*, 제28권, 제5D호, pp.665-675, 2008.
- [3] 조정연, *터널 공사비에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구*, 중앙대학교 건설대학원, 2007.
- [4] 이동준, *확률개념의 시뮬레이션을 이용한 최종공사비 추정방법*, 서울대학교 대학원, 2004.
- [5] 천진용, "시뮬레이션 모델링을 통한 NATM 터널 공정 생산성 향상 분석", *대한토목학회논문집*, 제25권, 제3D호, pp.457-462, 2005.

- [6] 김정민, 서형범, 황호정, 김경주, "터널 버력처리 공정의 시뮬레이션 적용성에 관한 연구", *한국건설관리학회논문집*, 제8권 제1호, pp.141-149, 2007.
- [7] 원서경, "시스템 다이내믹스를 활용한 토공장비의 조합 모형 연구", *한국건설관리학회 논문집*, 제8권, 제2호, pp.194-202, 2007.
- [8] 오상영, 홍현기, "결합적 요인분석 연구방법", *한국콘텐츠학회논문집*, 제7권, 제10호, pp.202-210, 2007.
- [9] 오상영, "GIS기반 최적공간선정을 위한 시스템론적 접근", *한국콘텐츠학회논문집*, 제6권, 제12호, pp.121-127, 2006.

### 저 자 소 개

박 용 우(Yong-Woo Park)

정회원



- 2009년 2월 : 한밭대학교 토목공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 한밭대학교 토목공학과(공학석사)
- 2011년 5월 ~ 현재 : 한국철도공사

<관심분야> : 토목공학, 건설관리

박 희 성(Hee-Sung Park)

정회원



- 1995년 2월 : 홍익대학교 토목공학과(공학사)
- 1996년12월 : 미시건대학교 토목공학과(공학석사)
- 2002년 8월 : 텍사스대학교 토목공학과(공학박사)

• 2004년 2월 ~ 현재 : 한밭대학교 토목공학과 교수  
<관심분야> : 토목공학, 건설관리