

터널과 함께한 여정(旅程)과 잔상(殘像) - I



서강천
(주)도화엔지니어링 철도2부 기술고문

1. 들어가는 말

요즈음에는 전국 여러 곳에서 터널공사들을 하고 있고 너무 일반화 되어 있기 때문에 특수한 신공법을 적용하는 경우 등이 아니면 일반적인 터널에 대하여 읽을거리가 전개하기가 만만치 않다. 거기에는 필자는 관공서와 공기업 출신이기 때문에 엔지니어링과는 거리가 멀어 이론적인 접근 또한 곤란하다. 그러나 수십 년 이상 학교에서 구구단과 방정식을 가르쳤다고 요즈음이나 향후에는 안 가르칠 것인가? 지금도, 향후에도 계속 새로운 학생들한테 구구단과 방정식을 가르칠 것이다. 이러한 생각을 바탕으로 내가 겪어온 터널에 대하여 짚어보고자 하며, 그동안 여기 저기 기회가 닿는 대로 이야기를 하곤 했던 것을 “터널과 함께한 여정과 잔상”이라는 주제를 가지고 몇 가지 적어 보려고 한다. 단, 역사적 또는 이론적인 내용이 아니고 순전히 필자의 경험과 주관을 바탕으로 한 이야기임을 양해 바란다.

2. 들어가서 하는 말

2.1 땅 속 세계의 놀라움

어렸을 때, 나는 남들과 좀 색다른 경험을 해본 좋은 추억이 있다. 초등학교나 중학교 시절에는 대부분 가난하게 살았기 때문에 방학만 되면 밥 농사짓느라고 고향에 가 있곤 했다. 중학교3학년(1963년) 여름방학 때는 문경에 계신 숙부 댁에 가 있으면서 봉명광업소(흑연광)의 막장을 볼 기회가 있었다. 어느 날 아침 까까머리의 체구 작은 학생인 나는 갱부 아저씨들을 따라 갱내로 향했다. 머리에는 소형 랜턴이 붙은 안전모를 쓰고 탄차(炭車)를 타고 어두침침한 갱도를 한참 들어가서 갱부들을 뒤따라 사갱(斜坑)을 한정 없이 걸어내려 가다가 정신을 차리고 보니 사갱 바닥에는

미끄러지지 않도록 어른 팔목 굵기의 통나무 사다리를 깔아 놓았다.

내려가면서 은근히 걱정도 되고 궁금한 것도 생긴다. 사갱을 따라 상당히 많은 지하수가 흐르는데 이 많은 물들이 땅속 어디로 가나? 막장에서는 물속에서 일하나? 하는 의문이 자주 든다. 좌우를 찬찬히 훑어보니 갱목으로 받쳐 놓았는데 대부분 갱목의 굵은 쪽이 위로 향해 있어, 왜 거꾸로 받쳤을까? 하는 의문 속에 굉음 소리가 가까워지며 막장에 도착했다. 손과 얼굴이 새까만 몇 명의 갱부들이 소형 기관총(CA-7) 같은 장비로 흑연을 캐고 있는데 파지는 것인지 무너지는 것인지 알 수가 없었다. 지갱(支坑)을 통해 다른 곳도 좀 보다가 들어왔던 사갱을 따라 나가면서 갱부 아저씨한테 궁금한 것을 물어 보았다. “아저씨 여기 받쳐 놓은 통나무는 왜 전부 거꾸로 세웠어요?” 쓸데없는 거 묻는다면서 대답도 않는다. -지금 와서 생각하면 그 당시의 계측 일종이 아닐까 하는 생각이 든다. 동발목이 짐(하중)을 받으면 조금이라도 약한 쪽이 먼저 찌그러지고 눈에 쉽게 발견될 것이기 때문일 것이라고 상상을 해본다. 내려갈 때는 몰랐는데 한참 올라가다 보니까 엄청난 기계 소리의 굉음이 점점 가까워진다. 마침 갱부 아저씨가 횡갱을 통해 소리가 나는 쪽으로 나를 데리고 갔다. 나는 소스라치게 깜짝 놀라고 말았다. 어두침침한 그곳에는 커다란 호수가 있었다. 수 백 미터 땅속에 호수가 있다니!... 멀리 건너편에는 백열등이 깜박거리고 물가에는 노가 얹혀있는 작은 보트가 떠있으니 혼동할 수밖에 없었다. 그곳은 지하수를 모아 지상으로 펌핑하는 양수장이었다.

고등학교 1학년(1964년) 여름 방학 때는 분위기가 전혀 다른 포천에 있는 금광에 다녀왔었다. 그곳은 뚫어 놓은 터널이 마치 자연 동굴과 같이 울퉁불퉁 하고 일체의 지보 설치가 없는 암반 상태 그대로였다. 험령한 장화를 얻어 신고 손에는 간데라 등(燈)(카바이트에 물을 부어 발생하는 가스에 불을 붙여 어둠을 밝히는 등)을 들고 일행을 한참 따라가는데 어깨에 푸대 자루를 짊어진 갱부 아저씨가 주의를 준다. “나한테 3미터 이상 떨어져서 따라와.” 한다. “왜요?”하고 물으니 “이거 다이ना마이트 이거든” 통명스레 내뱉고는 성큼성큼 앞장선다. 한참을 들어가다 보니 갑자기 상당히 넓은 장소가 나타났다. 그곳에는 발동기로 작동하는 원치가 보이고 가까이에는 어두컴컴한 수직구가 있었다. 내려다보면 깜깜하고 무섭다. 아무 것도 보이지 않고 찬 냉기만 느껴졌다. 슬그머니 뒷걸음만 처진다. 얼마나 깊을 까? 하고는 공깃돌 크기의 돌을 슬쩍 던져 보았더니 아무 소리도 들리지 않았다.

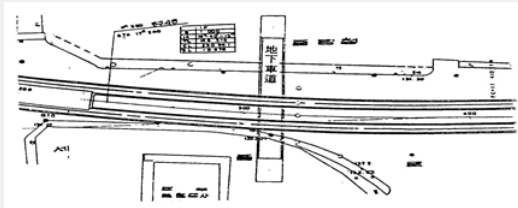
잠시 후 내려가자고 하는데 계단도 없고 내 눈에는 아무것도 안 보인다. 갱부 아저씨들이 내려가는 곳에는 참나무로 엮은 수직사다리가 설치되어 있었다. 나무 사다리는 습기가 배어 미끌거리고 목덜미에 떨어지는 차가운 낙수 물방울에 짹짹 놀라면서 컴컴한 수직구를 내려가자니 죽을 맛이다. 한 손에 든 간데라 등(燈)을 버릴 수도 없고, 아차 하면 오늘 내가 죽는 날이구나 하는 생각뿐 아무 생각도 안 들었다. 덜덜 떨면서 정신없이 내려가는 중에 갑자기 누가 내 등을 잡아챈다. 연결갱으로 나를 끌어들이는 것이다. 정신을 차리고 일행과 함께 꼬불꼬불 한참을 들어가니 그곳 막장에는 한 무리의 사람들이 일을 하고 있었다. 그 사람들은 운반해 온 다이나마이트를 받아서 도폭선에 연결된 뇌관을 다이나마이트와 결합시켜서는 막장에 이미 뚫어 놓은 구멍에 긴 막대기로 쏘서 넣는다. 폭약 설치가 끝나자 마치 막장에는 국수 다발을 늘어놓은 것 같아 보였다. 그 다음에는 서부 영화에서 가끔 보았던 장면이 벌어졌다. 도폭선마다 성냥불로 불을 붙이고 어떤 사람은 담뱃불로 붙인다. 도폭선이 푸르스름한 연기를 뿜으며 치지직 타들어가는 것을 보고 수직구를 내려올 때보다 더 겁먹은 나는 “아저씨 빨리 나가요!”하고 외쳤지만 들은 척도 안한다. 느긋하게 뒷

정리 작업을 하고는 따라 오라고 한다. 다른 지갱으로 들어가서 탄차 뒤에 웅크리고 머리를 숙이자 잠시 후 쿵 쿵하는 폭발음이 들리자 아저씨들은 하나 둘 헤아리고는 잘 되었다면서 나가자고 한다. 나는 얼마나 겁을 먹었던지 그 후의 일들, 어떻게 지상으로 나왔는지 도무지 기억이 안 난다.

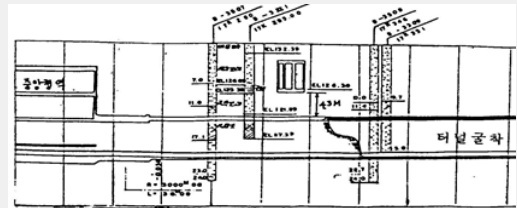
2.2 워터 포켓(Water Pocket)

초년병 시절에 나는 지하의 워터 포켓하면 커다란 호수 밑이나 대하천 옆에 터널을 팔 때 만나는 것인 줄로만 알았다. 서울의 한강 이남은 주로 편마암지대이지만 강북지역 특히 사대문 안은 화강암 지대이며 토사 지반도 대부분 화강풍화토이기 때문에 안정적인 성질을 갖고 있다. 특히 경북궁 앞 율곡로 하부 터널은 화강암으로 이루어진 북악산 끝자락에 놓여 있고 근처에 우려할 만한 호수나 큰 하천의 흔적도 없는 곳인데 터널을 굴진 하다가 워터 포켓을 만나 혼비백산한 적이 있었다.

그림 1과 그림 2를 보면 터널 상부 4.3m 위에 지하차도가 가로지르고 있다. 그림 2와 같이 막장이 이 지점까지 도달하도록, VIP 행차로 구간이며 토피 11m의 토사 천층(賤層)터널임에도 불구하고 일체의 지반보강그라우팅도 없이 보조공법으로는 오로지 휘폴링만 반영이 되었다. 지하차도 하부의 지질주상도를 자세히 살펴보면 모래층으로 되어 있어 자신감이 영 안 생긴다. 터널 보강이 반영 안 되면 현장감독 임무를 포기하겠다고 버티니 감리를 맡고 있는 JARTS(일본해외철도기술협력회)로 부터 터널 내부에서 커튼그라우팅을 하라는 의견을 받았다.



〈그림 1〉 율곡로 하부 3호선 터널 평면도



〈그림 2〉 율곡로 하부 3호선 터널 종단도

그라우팅을 위하여 지하차도의 하부 보강 부위에 천공을 하다가 1984년 2월 27일 감당하기 힘들 정도의 용출수가 터져 나와 긴급 상황이 벌어졌다(사진 1). 시벨건 흙탕물이 내 뿜어지면서 링카트의 코어도 어느새 유실되고 말았다. 모래층이 빠지고 나면 도로가 주저앉을 것으로 예상되니 마음만 급해진다. 어떤 수단을 동원해도 물을 막을 수가 없었다. 시험실의 체로 토사가 얼마나 빠져나오는지 체크를 하면서, 막장 보호를 위해서는 물길을 확보한 상태라야 작업이 가능할 것으로 판단되어 4인치 강관(L=3m) 2개에 제수변을 달아 오라고 시켰다. 강관 2개를 용출수 구멍에 밀어 넣고 모래주머니에 모르타르를 담아 쑤셔 넣으니 좀 진정이 된다. 마포(麻布)로 틈새를 메워가며 운반해온 가마니와 와이어매쉬를 막장에 덮고 슛크리트를 계속 타설 폐합하여 막장의 유실 확산을 막을 수 있었다. 제수변 2개는 완전히

열어 놓고 계속 용출수가 나오는 상태에서 급결 채움 그라우팅을 시행하면서 용출수 색깔의 변화를 관찰했다. 용출수의 색깔이 거무튀튀하게 바뀌면 제수변을 서서히 잠그면서 주입을 계속하였더니 나중에는 강관 속이 치약같이 모르타르가 차있는 것을 확인할 수 있었고 3월1일에는 용출수도 차단시킬 수 있었다.



〈사진 1〉 막장의 용출수 현황

지하차도 주위와 하부에 공동이 생겼을 것으로 추정하여 울곡로의 차선 일부를 막고 지상에서 주입 공사를 시행했지만 15일 이상 작업을 해도 소요의 주입 압에 도달하지 않아 결국에는 터널 내에서 채움 주입 공사를 시행하여 마무리 할 수 있었다. 독자들도 지질주상도의 지질 분포를 종류별로 연결해 보아 토사(특히 샌드층) 구간의 저점부에 지하수 부존이 예상될 경우에는 터널 굴착 시 상당히 조심할 필요가 있고 강관에 제수변을 달아 비상비축자재로서 갭문 근처에 비치한다면 복구 공사를 신속히 할 수 있을 것이다.

2.3 은인의 도움

그렇게도 긴장하고 조심조심 파던 단선병렬터널 330m를 거의 다 굴착하고 불과 20여m 남았을 때였다. 1984년 날씨 화창한 봄 어느 토요일 오후, 긴장이 좀 풀린 상태에 오랜만에 친구와 만나 바둑 몇 판을 두고 시간 좀 보내다가 집에 들어가니 와이프가 집 앞에서 서성이다가 나를 보고는 “빨리 현장에 가보세요.”하고는 쑥 들어가 버린다. 갑자기 머리가 하얘지면서 “드디어 올 것이 왔구나.” 사고를 직감하고는 택시를 잡아타고 현장에 도착했더니 의외로 현장이 조용하다. 감독실에 들어서니 본사의 기술이사님(육군공병감 역임)께서 군청색 점퍼에 군복 하의에 군화를 신고 조용한 표정으로 “서감독 열린 장화 신고 막장에 들어가봐.” 하신다. 막장에는 특공들이 응급복구 공사를 하고 있는데 터널 상부로 5m 정도 붕락이 발생되어 있었다.

주감독실에는 종로경찰서 대공과 형사와 합동 근무를 하고 있었기 때문에 보고 라인을 통해 경호실까지 알려진 모양이었다. 경호실 간부께서 경호실 직원들을 대동하고 현장으로 출발하기 전에 지하철공사 사장님(육사10기)을 현장에 대기시켰었다고 한다. 그 당시 사장님은 마스크에도 자주 소개되던 매우 엄격하셨던 분이다. 두 분이 터널 붕락 현장

을 둘러보고 나오면서 “우리는 서감독이 현장을 잘 마무리 할 것으로 알고 들어갑니다.”라고 사장님한테 말하고는 돌아갔다고 한다. 혹시라도 그분이 “이렇게 일하시면 VIP를 안심하고 모실 수 있겠습니까?”라고 말했다면 과연 오늘의 내가 있을 수 있었을까? 바로 감독 해임을 당하고 본사 한직에서 빌빌대다가 한심한 노년을 보내고 있을 텐데 하는 생각이 지워지지 않는다. 또, 한 가지는 주감독 어디 있느냐고 많이 찾았다는데 시공회사 누군가가 “감독님 예비군 훈련 갔습니다.”라고 답변을 했다고 한다. 그 당시에는 예비군 훈련이 상당히 엄하던 시기라서 그런지 현장 이탈에 대한 책임 추궁을 당하지 않았다. 이후 복귀와 보강공사를 끝낼 때까지 사장님께서서는 단 한 번도 어떻게 되어 가느냐고 물은 적이 없었다.

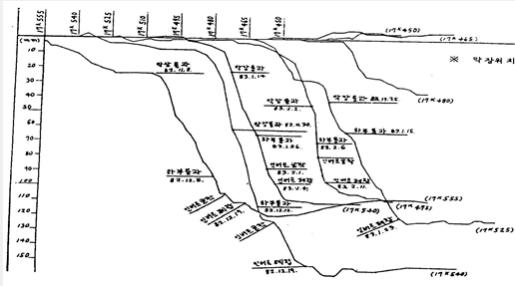
이러한 과정을 겪으면서 많은 것을 느낄 수 있었다. 얼굴도 모르고 대면한 적도 없었던 그분의 우호적인 말 한마디가 아니었으면 내 인생이 바뀌었을 것이라는 아찔한 생각이 든다. 또 어수선한 사고 현장에서 어떻게 “감독한테 연락이 안 됩니다.”가 아닌 “감독님 예비군 훈련 갔습니다.”라는 답변을 했을까? 지금도 고마운 마음을 버릴 수가 없다. 정리해보면 평소엔 성실해 보이고 적극적인 업무 처리를 함으로서 주변 사람들에게 반감보다는 우호적인 관계가 유지되었기 때문이었을 것이라는 생각이 든다. 그 당시에는 느끼지 못하고 정신없이 지나왔지만 70줄에 들어선 지금 흘러온 세월을 되짚어 보면, 얼굴도 모르던 그분은 나의 큰 은인이었구나 하는 생각이 지워지지 않는다.

2.4 터널의 10훈(訓)

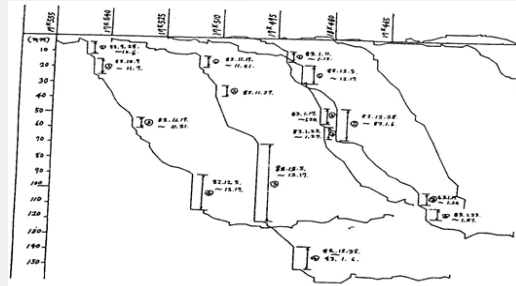
아침 일찍 울곡로 현장으로 출근할 때는 늘 광화문 사거리를 지난다. 초가을 청명한 어느 날 아침 평상시와 같이 광화문 사거리를 지나는데 빨간 신호등이 들어와 맨 앞에 멈추어 섰다. 앞을 바라보다가 불현듯 파란 하늘 아래 북악산이 눈에 확 들어오면서 내 가슴을 묵직하게 내리 누른다. 나도 모르게 차에서 내려 북악산을 바라보며 “산신(山神) 이시여 잠을 깨지 마시고 깊이 주무소서.”라는 염원과 함께 고개를 숙였다. 뒤에서 뽕뽕거리는 크랙션 소리에 화들짝 놀라 급히 차를 몰고 현장사무실로 향했다. 책상에 앉아서도 내가 왜 그랬을까? 북악산 끝자락의 땅 속을 뚫고 있으니 산신이 노하시어 터널 공사에 애를 먹지 않을까 하는 미신적인 생각이 잠재의식 속에 깔려 있었나 보다. 현장 근무를 하면서 늘 떠나지 않는 생각이 머릿속에 맴돌았다. 내가 전방 대성산 앞 GOP 소대장을 하면서 비무장지대에 들어가 철책 보수 작업을 하면서 만일 소대원 중에 어느 누가 월북이라도 한다면 나는 남한산성에 가는 것이 아닌가 하는 긴장감도 잘 헤치고 나왔는데, 이 토피 얇은 토사 터널을 파다가 붕락이 발생하여 하늘이 보인다면 VIP행차로가 끊어지는 것이 아닌가? 그렇게 되면 나의 젊은 기술 인생은 끝장이 날 것이라는 절박감과 긴장감이 늘 떠나지 않았다. 그 때부터 내가 거치는 터널 현장마다 감독 책상 뒤 벽에는 “잠든 암을 깨우지 마라, 다시는 잠들지 않으리라!”라는 글귀를 크게 써서 붙여 놓았었다.

천층토사터널(토포피 $\leq 1.5D$)은 터널 내부의 계측보다는 지표 침하 측정이 매우 중요하다. 터널의 굴진 여부에 따라 민감한 반응을 보이기 때문이다. 일반적으로 도심지를 지나는 터널은 계측을 아무리 열심히 하려고 해도 제약이 많다. 최소한 터널 측벽에서 $[45^\circ + \phi/2]$ 의 파괴가능면을 설정하여 그 범위내의 변위를 면밀히 측정하여야 하는데 빌딩이나

점포 등이 있어 쉽지가 않다. 그러나 울곡로 하부 터널은 중앙청 앞이므로 수 십 미터의 넓은 도로 폭으로 인하여 중·횡방향 마음먹은 대로 충분한 계측을 할 수 있었다. 이렇게 측정한 지표 침하 현황 예를 아래에 소개한다(그림 3-4).



〈그림 3〉 경과 일수에 따른 지표 침하 측정도

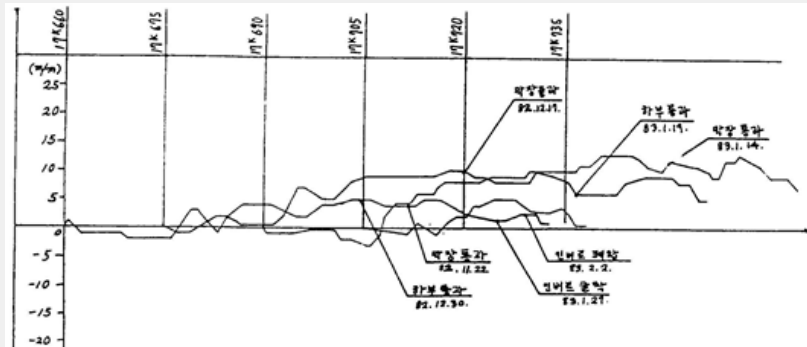


〈그림 4〉 굴진 속도에 따른 지표 침하 측정도

1983년 당시 터널공사에는 토피가 얇은 토사터널이라도 지반보강그라우팅 개념이 전혀 없었다. 슛크리트 타설비가 고가(高價)이었기 때문에 막장 폐합 개념도 없었고 며칠씩 막장이 서있어도 폐합을 하지 않았었다. 요즘에는 많은 예산을 투입하여 과도할 정도의 터널 보강공사를 한 후 굴착하기 때문에 지표 침하량을 10~20mm 이하로 억제할 수 있지만 그림 3 과 그림 4는 어떠한 보강도 없이 터널을 굴착하여 135~155mm의 지표 침하 현황을 보이고 있으며 이는 많은 연구 자료로 활용할 수 있었다. 그림 3을 보면 선행 용기가 발생되고 막장이 지상의 측정 점을 지나면서 침하(3.2mm/일)가 본격적으로 일어나며 인버트를 폐합하면 바로 침하가 멎는 것을 알 수 있다. 그림 4에서는 막장 굴진을 안 하고 멎어 있어도 침하는 계속 진행되고 있어 막장의 폐합 필요성을 알 수 있다. 그런데 한 가지 간과할 수 없는 것은 지표 침하 측정 점은 아스팔트 위에 단순히 콘크리트 못을 박은 곳에 스타프를 세워 레벨로 측정된 값이다. 그런데 중앙청 앞 도로는 웨어링을 자주하여 포장 두께가 다른 곳보다 매우 두껍다. 지표 침하 측정 핀을 철근으로 원 지반에 설치했다면 더 예민한 측정값을 기록할 수 있었을 것으로 생각한다. 이러한 침하 그래프에 횡 방향 측정 침하 곡선을 입히면 마치 새가 날아가는 모습의 형태를 보이기 때문에 나는 “얇은 토사 터널은 학(鶴) 춤을 춘다.”고 어디서나 강조를 하고는 했다. 또한, 지표 침하 측정이라고 해서 반드시 침하만 있는 것이 아니고 용기도 있다(그림 5 참조).

지표 용기 측정 위치는 안국동 로터리에서 중앙청 방향으로 언덕진 곳으로서 예전 한국일보사 건물 앞에 있던 도로이다. 처음에는 계측 팀들이 감독한테 많이 기합을 받았다. 기준점이 움직인 것 아니냐, 측정을 똑바로 하라고 야단을 쳐도 마찬가지였다. 막장을 며칠 면밀히 관찰해본 결과 그 이유를 알 수 있었다. 막장의 지반은 수평 스위트 조인트의 층리 상태를 보이고 매우 마찰각이 강하고 토성분이 적은 현석 화강풍화토 이었다. 굴착된 버력을 한 주먹 손바닥에 올려놓고 힘주어 비빌 수 없을 정도로 따끔거린다. 그림 3-4의 경우에는 버력을 물속에 넣어보면 붉게 풀어지면서 가

라았지만 그림 5의 경우에는 물 색깔 변화 없이 가라앉았다. 터널 굴착으로 인한 응력 해방에 따라 발생하는 내공 변위의 영향으로 토피가 얇은 지표면에 융기 현상이 나타난 것이다.



〈그림 5〉 경과 일수에 따른 지표 융기 측정도

어떠한 공법과 방법으로 터널을 굴착해도 터널 기술자들은 다음과 같은 터널의 10훈(訓)을 잊지 말고 명심하여 현장에 임(臨)해야 한다고 생각하며 다음 구절이 몇 가지라도 가슴에 몽클하게 와 닿는 그 사람은 자신도 모르게 어느새 터널기술자가 되었다고 볼 수 있다.

1) 산(山)의 성상(性狀)은 지상(地相)이요, 지상(地相)은 인상(人相)이라

- 잘 생겼건 못 생겼건 나이 먹은 사람의 얼굴은 그 사람의 인품을 나타내듯이, 산이나 지반은 수 천 년, 수 백 년 동안 세월을 겪은 나뭇대로의 특성이 있으니 잘 살펴보라는 뜻이다.
- 옛말에 ‘산이 이슬을 내린다’, ‘산이 땀을 흘린다’라는 있었다. 이는 경험 많은 예전 터널 기술자들의 말이다. 산이 이슬을 내린다는 말은 암괴의 변위로 인한 돌가루나 부석이 떨어지는 현상을 말하고, 산이 땀을 흘린다는 말은 터널의 동발목이 짐(하중)을 받아 동발목에 진물이 나오는 현상을 뜻하는 것으로 재래식 계측의 일종이라 생각한다.

2) 암(岩)은 굳어도, 산(山)은 굳지 않다!

- 현재의 막장이 양호한 암반이라도 계속 굴진하다 보면 단층대, 파쇄대, 용수대 등을 만날 수 있으니 주의하라는 뜻이다.

3) 정도(程度)를 벗어나는 굴착을 하지 마라!

- 지반 등급별로 1회 굴진장을 지키고, 상부반단면의 벤치장과 인버트 폐합시기를 지키라는 뜻.
- 일반적으로 상부 벤치장은 토사일 경우 5~8m, 풍화암 구간은 20~30m, 연암 구간은 50~80m, 경암 구간은 제한 없음, 이러한 패턴을 상식적으로 알고 있는 것이 좋다.

4) 터널은 려인(麗人)과 같으니, 소중히 다루어라!

- 아름다운 려인은 거칠게 다루면 도망갈 것이고, 소중히 다루면 품에 들어 올 것이니, 터널도 려인과 같이 조심 이 다루라는 뜻이다.

5) 잠든 암(岩)을 깨우면, 다시는 잠들지 않는다!

- 터널을 굴착하게 되면 굴착선 밖으로 소성 범위 발생 범위가 지반 별로 다른데 발생 범위 밖으로 소성 범위가 확산되지 않도록 굴착선의 1축응력을 3축응력으로 복원시켜 주라는 뜻이다.

6) 연약지반 터널은 학(鶴)춤을 춘다!

- 경과 시간에 따른 지표침하곡선의 변이 추이를 보면, 선행 용기와 종방향 침하 곡선 및 횡방향 침하 곡선을 포 개 놓았을 때 날아가는 새의 모습이 연상된다는 뜻이다.

7) 터널의 위험(危險)은 피하면 쫓아오고, 쫓아가면 도망간다!

- 작은 붕락의 징후가 보일 때 겁을 먹고 피하면 대규모 붕락으로 확대될 수 있으니 확산되기 전에 적극 대응하여 막아야 한다는 뜻이다.
- 토사 터널의 1차붕락은 높이 1~3m 정도로 발생하고 3~4시간 멈추어 주는데 이때 응급 복구가 실패하면 아칭 력이 깨지면서 2차붕락 높이 5~6m가 추가로 발생할 수 있다. 이 또한 3~ 4시간 동안 아칭력으로 견디어 주는데 이때 응급복구를 끝내서 하늘을 보지 않도록 해야 한다.

8) 터널의 변형(變形)은 멈추면 쌓이고, 전진(前進)하면 줄어든다!

- 막장 지반 상태가 급격히 취약해지게 되면 전문가의 판단을 받아야 되겠지만, 양호한 터널 자재 확보, 장비 가동, 작업조가 full 편성 되었을 경우 책임 있는 경험자의 지휘 아래 조심조심 굴착을 하게 되면 70~80%는 대부분 극복이 가능하다. 취약 지점을 벗어나면 변형은 결국 수렴을 하게 되므로 신속히 영향 범위에서 벗어나 라는 뜻이다.

9) 상생(相生)과 상극(相剋)을 함께 하는 물을 잘 다루어라!

- 간극수압을 줄이면 유효응력이 증대하듯이 지하수를 배수시켜 지반의 유효응력을 키워주고 암반 절리면의 충전 물이 물을 먹어 풀어지는 등 마찰 응력이 감소되지 않도록 암반 내의 침투류에 의한 응력은 배수 조치를 하여 해소 시키라는 뜻이다.

10) 터널의 지기(地氣)를 느끼고, 막장과 대화(對話)를 해라!

- 터널 점검자는 막장까지 들어가서 손바닥으로 만져보고, 소형 햄머로 두드려 보고, 절리면 틈새의 가오지(충진물)를 손가락으로 비벼보는 등 자세히 살펴보고, 체크리스트 등을 연상하면서 막장 상태를 점검하다 보면 불현듯 막장과 대화를 한다고 느낄 수 있다는 뜻이다.

2.5 공사 과장의 눈물

1991년 종로4가의 종묘 앞 광장 밑에 5호선 터널을 뚫을 때였다. 종묘 앞 광장 밑에는 이미 지하5층 공용 주차장이 건설되어 사용 중에 있었다. 확폭 터널(D=13m)의 일부는 지하주차장 집수정 구조물과 2.7m 정도 근접해서 지나가야 한다. 막장 지반은 강한 연암 정도로서 중앙분할굴착(CD-cutting) 방식으로 발파 굴착을 했었다.

아침에 회의를 하고 있는데 2층 감독실로 누가 우당탕탕 급히 뛰어 올라 온다. 얼핏 생각하니 방금 발파음이 들리던데 사고가 났구나 하는 생각이 든다. 아니나 다를까 직원이 들어와서는 “터널 붕락으로 사람이 깔렸어요.”하고 외친다. 감독이 취해야 할 1차 행동은 타이핑 필요 없이 손으로 휘갈겨 써서라도 지하철건설본부에 육하원칙에 의한 신속한 FAX 보고를 하는 것이다. 우선적으로 FAX 보고를 하고 터널로 확인하러 들어갔다. 막장에 들어가는 중간에 공사 과장을 만났는데 제대로 말도 못하고 눈물만 철철 흘리고 엉엉 울면서 우왕좌왕 하기만 한다. 사고가 나도 단단히 났구나 하는 생각을 하면서 막장에 도착해 보니 쏟아져 내린 버력더미는 쌓여 있는데 막장은 멀쩡했다. 여굴도 붕락 현상도 찾아 볼 수가 없었다.

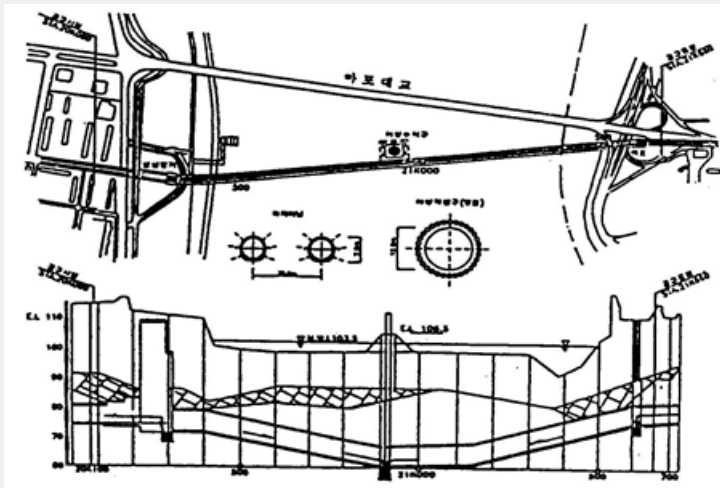
막장에서는 밑에 깔린 사람을 구한다고 백호우가 버력더미를 제키고 있는 도중에 지하철건설본부장님(관리관)께서 도착을 하셨다. 간단한 보고를 받으신 본부장님도 터널은 별문제가 없는 것을 확인하시고는 백호우 작업을 지켜보신다. 타 현장의 사고 발생 시에도 여러 번 목격한 모습이지만 우리 현장에서도 본부장님은 똑 같은 모습을 보이고 계셨다. 왼손으로 오른쪽 팔꿈치를 받친 상태로 담배를 물고 계셨다. 본부장님은 회의에서는 여러 가지를 확인과 지시를 하시지만 현장에서는 말없이 항상 같은 모습으로 지켜보시기만 하고 현장 지휘자들에 이래라 저래라 간섭을 안 하신다. 버력더미를 다 헤쳐 깔린 사람이 없다는 것이 확인되자 본부장님은 철수를 하셨다. 지상으로 올라오자 웅성웅성 소란스럽다. 수 십 명의 기자들이 몰려와서는 현장을 안내하라고 난리다. 문제는 터널 십장이 감독한테 와서 심각하게 부탁하는 것이 “여기자들이 몇 명 있는데 절대로 터널에 들어가서는 안 됩니다.” 막아 달라는 것이었다. 터널에서 휘파람을 불어서는 안 된다는 터널공들의 징크스를 알기에 “여기자님들은 별도 현황 설명을 드릴 테니 상황실로 가지지요.”

했다가 기자들로부터 거센 항의를 받았다. 여기자들도 우르르 함께 섞여 터널로 들어가는데 막을 수가 없었다.

터널을 발파하고 나서 환기가 되고 나면 제일 먼저 막장에 들어가는 사람은 화약 주임과 조수 두 사람이다. 불발 여부를 조사하고 부석(浮石)이 있으면 떨어낸다. 화약 주임 말을 들으니 조수와 함께 막장을 조사하던 중 전면에 보이는 암반 균열이 순간적으로 크게 보여 몸을 옆으로 뒹굴면서 피했는데 그때 막장면의 암반 일부가 쏟아졌다고 한다. 잠시 후 살펴보니 조수가 안보여서 암 더미에 깔린 것으로 착각을 했다고 한다. 암의 붕락은 터널 발파가 끝난 후 화약 주임이 발파 결과를 확인차 들어와 점검하던 중에 막장 면의 일부 암괴들이 슬라이딩 된 것이었다. 공사 과정은 현장의 중간 간부인데 우왕좌왕하며 눈물을 흘릴 것이 아니라 침착하게 현장 사고를 처리한 다음 사망자가 있다면 애도의 눈물을 흘리는게 더 바람직했을 것 같다.

2.6 국제자문회의

서울지하철5호선 한강하저터널은 연장 1,288m의 단선 병렬 터널(D=7.7m)이다(그림 6). 그 당시는 군사정권이 종식되고 최초 민선 대통령 시절로서 주택 10만호 건설사업으로 분당, 중동, 산본 등 대단지 등을 건설 중이라 철근과 레미콘 파동이 자주 생겼다. 평소 같으면 레미콘 출하 실적이 구정이나 추석 명절이 되면 감독실 마다 구두상품권을 나눠주려 다니느라고 바빴는데 이젠 반대 현상이 일어날 지경이었다. 92년 7월 감독을 맡고 보니 그동안 2년 동안 여의도 고수부지에 지중연속벽을 끝내고 토공 작업은 터널 상단 깊이까지 도달이 안 되어 있었다. 그런데 문제는 공사 도면이 확정되어 있지 않았다. 하저터널의 당초 종단 곡선은 험프(hump)커브로서 중앙부에서 양측 갱구로 물이 흐르게 계획 되었고 터널 단면은 영불 해협 터널의 단면과 같이 본선 터널 중앙부에 보조 터널(D=5m)을 설치토록 설계



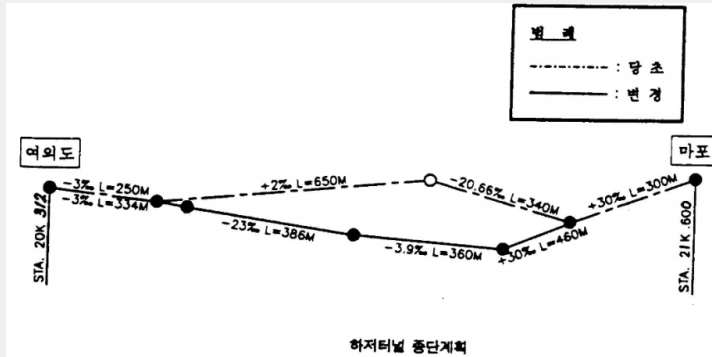
〈그림 6〉 5호선 한강하저터널(여의도~마포) 종평면 모식도

되어, 그동안 지하철건설본부에서는 공사 완료 후 보조 터널의 활용을 위하여 한전, 전기통신공사, 수자원공사 등 각 공공기관에 사용 협조를 요청하였으나 응하는 기관이 아무도 없는 상태였다.

이러한 문제를 해결하고자 학계와 전문가, JARTS(일본해외철도기술협력회)와 Geo Consult사의 참석 하에 국제자문 회의를 개최하게 되었다. 보조터널에 대해서는 생략하기로 쉽게 결정이 되었는데 종단 곡선에 대해서는 좀처럼 의견이 모아지지 않았다. Geo Consult는 현재의 제원대로 괜찮다고 하고 JARTS는 현 제원 대로 시공하다가는 실패한다고 강력히 주장하여 결론 없이 회의를 마치게 되었다. 전문가들이 모여서 결론을 못 냈는데 지휘 라인에서 대책이나 결정 안(案)이 내려오겠는가? 현장소장과 머리를 맞대고 공공거리의 중에 추가 지반시추조사 결과가 올라왔다. 당초 기본 설계의 지반조사(간격 200m) 결과는 대부분 경암으로 조사되어 있어 험프 종곡선으로 기본설계가 가능했었다. 기본 설계 당시에는 예산절감을 위하여 경암이 1~2m 출현하면 시추를 중단시키는 분위기였다. 공사를 착공한 상태에서 드럼통을 여러 개 묶어 그 위에 보링기를 장착하여 강물에 띄워 지반시추조사를 추가로 실시했더니 여기저기 파쇄대 층이 깊이 분포된 것을 알 수 있었다. 또 한 가지 여의도 부근의 한강 특성은 다음과 같다. 물이 흐르는 강폭은 1.1km, 수심은 평균 3.5m, 강바닥은 대부분 굽은 자갈과 모래가 6m 이상 깔려 있다. 재미있는 현상은 한강의 중심을 기준으로 마포 방향으로는 연암대 위에 모래와 자갈층이 덮여 있고, 여의도 쪽으로는 3~5m 두께의 풍화대 위에 모래와 자갈층이 분포되어 있다. 한강의 제일 깊은 유심부는 10m로서 마포측 강안(江岸)에 있다. 이는 수 백 년 동안의 홍수를 겪으면서 유속이 빠른 북쪽 방향으로 약한 풍화대층은 다 깎여 나가고 물이 굽이쳐 나가는 북쪽에 유심부가 생겼으며 반면에 남쪽으로는 유속이 약해서 일부라도 풍화대가 덮여있는 것으로 보인다.

마침 여의도 고수부지에 작업구(여의나루역) 굴착의 지반 상태는 터널 상부반단면 부위가 지하수 부존이 많고 약한 풍화대가 분포된 것이 확인되었다. 한강 밑에 터널을 굴착하려면 차수그라우팅은 필수 작업인데 현재의 종단 곡선으로는 터널 상단부에서 풍화대 두께가 5m 이하이기 때문에 설계상의 그라우팅 두께 5m를 시행하려면 그라우팅 주입 압을 지탱해 줄 토피가 부족하며 충격층으로 주입재가 유실되어 그라우팅 효과를 확보하지 못할 우려가 있고, 강 중심부에는 파쇄대 층이 매우 두껍게 분포되어 있는 코어 박스의 사진과 함께 터널의 안정성 확보를 위하여 종곡선 하향 조정이 필요하다는 방침서를 만들어 재가를 받을 수 있었다.

종곡선 구배는 그림 7과 같이 여의나루역에서 강 중심은 -23%, 강 중심에서 마포수직구는 +30%로 조정되었다. 가장 깊어진 강 중심부의 터널 깊이는 강바닥에서 터널 상단부까지 30m가 된다. 이렇게 확정되어 1992년 10월 10일 갱구 4개중 여의도측 우측갱 첫 번째 강지보재를 세울 수 있었다. 또한, 현장에서 전문가의 판단이나 지휘 라인의 대책 지시를 받기 어려운 경우가 종종 생길 수 있는데, 결정이 안 되었다고 마냥 기다리고만 있는 현장 책임자가 있다면 그는 현장을 떠나야 한다고 생각한다. 이럴 때 현장소장과 현장감독이 깊은 검토를 바탕으로 공감대를 형성하여 책임지고 수행해 내겠다는 강력한 의지 표명이 있어야만 해결할 수 있다고 본다.



〈그림 7〉 한강하저터널 종단곡선 변경

2.7 창업주의 고뇌

한강하저터널은 5호선의 18번째 공구로서 5-18공구(도급자:삼부토건)라 칭한다. 본 공구의 발주 당시 인접 공구인 5-17공구(도급자:현대건설)는 국내 최초의 하저터널인데 우리가 아니면 누가할 수 있느냐는 생각과 선경건설(SK건설 전신)은 회장님이 VIP의 사위인데 이참에 상징적인 현장을 수주 해야지 하는 생각이 충돌하여 치열한 수주 경쟁 끝에 조달청 입찰 결과 두 회사 모두 저가 입찰로 자격 박탈이 되고 부찰제로 삼부토건이 수주를 하게 되었다. 삼부토건의 창업주께서는 아들에게 경영을 넘겼지만 남대문에 있는 본사 명예회장실에 들리시면 티-택자 유리판 밑에 깔아 놓은 하저터널 종단도를 보시면서 고뇌에 빠지시곤 하셨다고 한다. 이 회사가 대한민국 토목 등록번호 1번인데 그동안 한강교량 실적이 한 개도 없는 것에 평소 애석해 하셨지만 생각하지도 않던 한강하저터널을 수주 했으니 걱정이 많으셨던 모양이다. 종단도를 보시면서 “내 살아생전에 삼부토건 간판 내리는 것은 볼 수 없다.” 만일 공사를 하다가 한강물이 터널로 들어온다면 과연 삼부토건 재력으로 감당할 수 있을까 하는 의구심에, 평소 친근하게 교류하던 일본 가지마 건설 회장한테 사정을 설명하고 기술 지원을 요청하셨다고 한다. 그 결과 하저터널을 굴착하다가 몇 번의 어려움에 봉착할 때마다 일본의 가지마 건설에서는 세이칸(靑函 L=53km) 해저터널 경험자 간부급 직원을 현장에 파견해주어 도움을 받을 수 있었다.

터널 공사를 착수할 때쯤 되어 창업주 노부부께서 여의도 현장을 방문 하셨다. 안전 울타리 가까이 창업주께서 노마님과 함께 지팡이를 짚고 하얀 머리카락을 날리며 물끄러미 내려다보시던 모습이 지금도 눈에 선하다. 얼마 후 노마님으로부터 현장으로 지시사항이 전달되었다. 독실한 불교 신자인 노마님은 평소에 다니시던 절의 고승(高僧)한테 현장의 안전을 기원하며 축원 방식과 날짜를 받아 오신 것이다. “월초와 삭망(朔望) 때마다 일출 전에 한강 제방에서 제(祭)를 올려라. 제상(祭床)은 딱 한 시루, 같은 크기의 익히지 않은 생 돈육, 북어, 제주(祭酒), 양초를 올려라.”는 것이 지시 사항이었다. 그래서 매달 두 번씩 공사 과장과 터널 십장은 무사고를 기원하는 제를 올렸다. 현장 함바 식당

점심시간에 떡과 맛있는 돼지고기 김치찌개가 보이면 오늘 제를 올렸구나 하고 무사고를 기원하는 뜻으로 마음을 가다듬고는 했다.

하저터널 막장에서 전방으로 연장 22m 구간에 SM층(실트모래층)이 출현하여 고민을 하던 중에 시공사의 요청에 의거 일본 가시마 건설의 기술진이 지원팀으로 현장에 투입되었다. 일본 기술진들과 그라우팅 계획을 세우고 함께 주입용 규산과 시멘트의 혼합액 점도를 측정하고 주입 압력 관리를 하면서 한 달여가 지나자 어느덧 현장도 안정화되기 시작했다. 일본 기술진이 철수하기 며칠 전 책임자가 감독실에 와서는 상황실로 오라고 부른다. 그 당시 상황실에는 방문객들에게 보여 주려고 SM층 시료를 진열해 놓았었다. 나한테 모조지 전지를 갖고 오라고 하고는 자기를 따라서 하라고 하면서 시료 한 덩어리를 떼어내서 손바닥 위에 놓고 주물럭거리면서 무엇인가를 집어내어 모조지 위에 놓아 놓고는 구리스 펜으로 화살표를 긋고는 Fault Breccia(단층각력암), 그리고 Fault Clay(단층점토)라고 적는다. 그래서 나는 그때부터 어떤 경우에 단층이라는 말을 붙이는지를 알 수 있었다. 이러한 모든 경우, 내역서 이외의 지원 체계를 발주청 입장에서는 비용을 반영해주지 못했지만, 창업주께서 고뇌 끝에 내려주신 지원 체계를 지금도 고마워할 뿐이다.

이와 같이 국내에서 해보지 않던 난공사를 처음 수행하게 되면 참여 기술자들뿐만 아니라 주변에서 과도할 정도로 관심을 갖다가 나중에 큰 사고 없이 끝내고 나면 대부분 시큰둥해진다. 만일 네가 했으니 나도 할 수 있어 하는 기술자가 있다면 그 사람은 큰 착각을 하고 있다고 나는 단언할 수 있다. 지금도 한강에 하저터널을 계획한다면 아무리 암반이라도 발파를 해서는 안 된다고 주장하는 고위층 토목기술인도 있다. 5호선 한강하저터널 완공 후 다른 곳의 한강 밑을 횡단하는 터널(분당선)이 TBM공법으로 시행되었으며, 현재도 암사 지역에 8호선 연장선이 TBM공법으로 한강 밑에 터널을 공사하고 있다. NATM공법으로 설계하는 것은 무모한 일이라고 많은 발주기관들의 인식 전환이 있었음이다. 향후에도 한강을 횡단하는 터널은 계속 건설 되겠지만 자동차용 터널과 같이 대형 단면이 필요한 경우가 아니면 절대로 NATM공법은 기피할 것이라고 믿는다. 그것은 불확실성의 두려움과 국내의 경제적 여력이 TBM공법을 쉽게 수용할 수 있기 때문이라고 생각한다. (계속)(kcsuh500@hanmail.net)

[본 기사는 저자 개인의 의견이며 한국터널지하공간학회의 공식입장과는 무관합니다.]