

# 쉴드TBM 세그먼트 작업개선으로 누수부적합 감소

- 품질분임조명 : 확대경
- 발표자 : 김홍교, 정은주
- 품질분임조원 :
  - 분 임 장 : 김을한
  - 분 임 원 : 강영우, 황승준, 노환옥, 김을한, 우철원, 이성규, 주정민, 정은주, 오명중, 김홍교, 김기덕



## 회사소개

- 회사 : 한국전력공사 서울전력구건설처

한국전력공사는 “고객과 함께 성장하는 세계적인 전력회사”라는 비전과 “고객존중, 변화지향, 수익중시”를 핵심가치로 삼고 있으며, “윤리경영 확립, 조직활력 촉진, 고객감동 실현을 기반으로 깨끗한 기업, 활기찬 한전”이라는 경영방침을 구현하고 있습니다.

서울시 중구 남대문로 2가에 위치하고 있는 우리 서울전력구건설처는 “품질경영혁신 선도, 전직원의 안전요원화”라는 품질경영 및 안전관리방침 하에 “전력구설계 최적화 정착, 고품질무재해 전력구건설, 전력구건설 적기추진”을 중점적으로 추진하고 있습니다



## 분임조 소개

- 품질분임조 : 확대경

저희 확대경 분임조는 김을한 조장 외 10명으로 구성되어 있으며, 전력구 공법개선, 신기술 도입 및 시공 등의 업무를 담당하고 있습니다.

분임조 성장과정을 살펴보면 99년 6월에 최초 결성되어, 다양한 분임조 활동과정을 거쳐, 현재는 품질개선활동의 정착기에 이르고 있습니다.

분임조 활동현황으로는 연간 3건의 테마해결, 매월 2회 정기회합과 1인당 10건의 제안활동을 목표로, 보람있고 내실있는 품질분임조 활동에 총력을 기울여 2005년 전국품질경진대회 금상을 수상하였으며, 또한 품질개선능력 정착으로 국제품질경진대회에 참가하여 최고의 품질분임조로 거듭나려고 합니다



## 공정소개

### 셸드 TBM 공정 소개

셸드TBM 터널굴착 공법은 굴진과 동시에 세그먼트를 굴착면에 조립하여 구조체를 완성하는 공법					
공정순위	1	2	3	4	5
공정도시기호	◇	◇	○	○	○
공정사진					
공정설명	장비성능검사	세그먼트 제품검사	발진구 굴착작업	장비거치작업	굴진작업

공정순위	6	7	8	9	10
공정도시기호	◇	○	➡	○	○
공정사진					
공정설명	터널좌표 검사	버력반출작업	세그먼트 이동	세그먼트 설치작업	장비해체작업

### 세부 세그먼트 설치 작업 공정 소개

9-1	9-2	9-3	9-4	9-5
➡	○	○	○	○
세그먼트 운반작업	세그먼트 조립작업(1)	세그먼트 조립작업(2)	볼트 체결작업	뒷채움 작업
				

셸드TBM공법이란 터널보링머신이라는 기계화된 건설장비를 사용하여 터널을 굴착하는 공법으로 TBM 장비를 이용한 굴착, 버력처리 및 세그먼트 조립 과정을 거쳐 터널을 완성하게 되는 것입니다

셸드TBM 터널시공은 무진동, 무발파의 기계화 굴착이며 원형 단면으로 굴착되므로 구조적 안정성을 최대한 확보할 수 있으며, 소음, 진동에 의한 환경피해를 최소화하여 안전하고 청결한 갱내작업환경을 유지할 수 있는 친환경적 터널굴착공법입니다.

본 공법의 필요성이 최근 더욱 높아지는 이유는 국내 건설 시장에서 경제발전과 국민복지시설 확충에 따라 도로, 철도, 지하철 등 교통망의 지속적인 확충, 수자원 이용, 전력구 건설 등 터널 수요가 급격히 증가하고 있으나,

용지보상비의 과다, 터널 전문 기술자 확보의 어려움, 교통체증, 시공중 각종 소음 및 진동으로 인한 민원발생 등으로 재래 공법의 적용성이 한계를 드러냈기 때문입니다.

## 주제선정

주제선정 절차는 먼저 테마선정을 위한 자료수집, 제안자설명 및 자료분석, 평가항목 선정 및 가중치 결정을 통한 적합성 검토의 과정을 거쳐 최상위 점수를 받은 안건을 주제로 선정하기로 하였습니다.

주제선정 동기는 각종 민원 등의 문제로 터널식 전력구가 증가추세에 있으며, 그중 쉴드TBM 터널공사가 높은 비중을 차지하고 있습니다

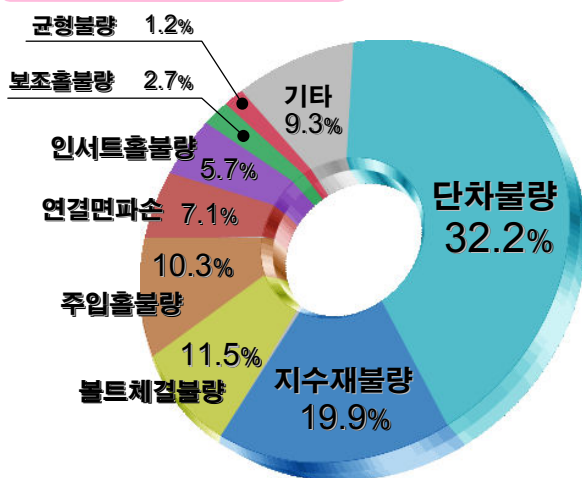
쉴드TBM터널 시공 부적합 현황을 파악한 결과, 세그먼트 누수 부적합이 39퍼센트로 가장 높은 점유율을 보여 쉴드TBM 터널공사 증가에 따른 시공 부적합 원인의 개선이 시급하였으며, 이를 사업소 측면과 분임조 측면을 고려한 결과,

쉴드TBM 세그먼트 작업개선으로 누수 부적합 감소를 주제로 선정하게 되었습니다

## 활동계획수립

본 주제에 대한 활동 계획은 각종 QC기법(파레토도, 특성요인도, 막대그래프, PDCA, 꺾은선그래프, 레이다도)을 활용하여 당초 2004년 9월 시작하여 2005년 2월까지 완료하는 것으로 계획하였으나, 2차 대책 실시로 인하여 2005년 3월에 완료하게 되었습니다.

## 현상파악



세그먼트 조립 완료분 900M에 대한 누수 부적합 현황을 3주간 조사한 결과 총 누수개소 합계가 1,360개소로 나타났습니다

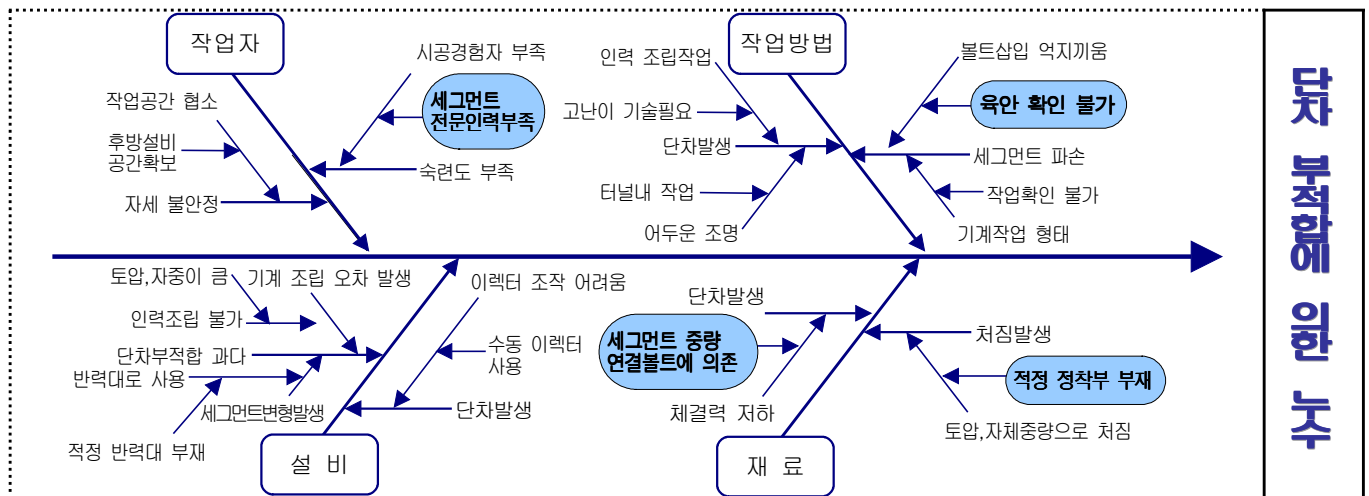
누수 부적합 원인중 단차, 지수재, 볼트체결, 주입출, 연결면 파손 부적합 개소의 합이 총 누수 부적합개소의 81.03 퍼센트를 차지하였으며/ 앞서 말한 단차 부적합 등 5가지 항목을 중점 개선키로 하였습니다.



## 원인분석

먼저 세그먼트 누수 부적합 원인중 단차 부적합 원인은 세그먼트 전문인력 부족, 적정 정착 부 부재, 지수재 부적합 원인은 수평창 지수재 과다 팽창, 가스켓 부착홀 얇음, 볼트체결 부적합 원인은 방수패킹오링 파손, 방수부속재 부적정, 주입홀 부적합 원인은 주입홀 막힘, 스틸파이프 사용, 연결면 파손 부적합 원인은 적정 반력대 부재, 연결면 부딪힘이 주요요인으로 나타났습니다. 그중 한가지 부적합원인에 대한 특성요인도를 살펴보면 다음과 같습니다

### 특성 요인도



## 목표설정

세그먼트 누수개소를 당초 1,360개소에서 897개소로 34퍼센트 감소하는 것을 목표로 정하였습니다. 목표설정 근거는 독일 스투바 터널의 방수등급 중 3등급을 기준으로 설정하였습니다.

항목별로는 단차 부적합 186개소, 지수재 부적합 109개소, 볼트체결 부적합 67개소, 주입홀 부적합 59개소, 연결면 파손 부적합 42개소를 감소시키는 것으로 목표를 설정하였습니다



## 대책수립

대책수립계통도를 통해 세그먼트 누수 부적합 감소에 대한 주요 대책을 살펴보면, 단차 부적합 대책은 세그먼트 정착부 설치, 지수재 부적합 대책은 가스켓 부착홀 깊이 조정, 볼트체결 부적합 대책은 전단키 설치, 주입홀 부적합 대책은 플라스틱 파이프 및 마개로 변경, 연결면 파손 부적합 대책은 세그먼트 단면 여유폭 확보를 선정하였습니다.

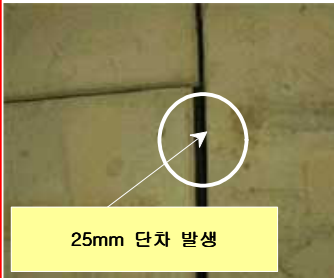



## 대책실시

대책1	정착부 설치로 단차 부적합 감소
문제점	세그먼트 조립시 세그먼트간 맞물릴 수 있는 정착부가 없어 토압, 자체중량 등으로 인해 단차 부적합 발생

세그먼트 조립시 단차발생으로 인한 취약 부분이 발생하지 않도록 세그먼트에 18개소의 요철형 정착부를 설치하여, 조립시 서로 정확하게 맞물릴 수 있도록 하였습니다.

그 결과, 개선전 25mm였던 단차를 개선후 0.2mm로 감소시켜 허용단차 0.5mm 이하를 유지토록 하여 터널 안정성 확보 및 지하수 유입 차단효과를 가져올 수 있었습니다

개 선 전	개 선 후
	
25mm 단차 발생	0.2mm 단차 발생
허용단차(± 5mm) 초과로 부적정	개선결과 허용단차 이하로 적정

대책2	<ul style="list-style-type: none"> <li>수팽창 지수재 고무링 부착으로 지수재 부적합 감소</li> <li>가스켓 부착 홈 깊이 조정으로 지수재 부적합 감소</li> </ul>
문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외측 가스켓 부착부적합으로 지하수가 유입되어 내측 수팽창지수재가 팽창되거나 지수재의 과다팽창으로 인해 지수재 부적합</li> <li>외측에 부착되는 가스켓 두께는 두꺼우나 부착홈이 얇아 세그먼트 조립시 세그먼트에 가스켓이 밀려 지수재 부적합 발생</li> </ul>

내측 수팽창 지수재는 양 끝에 2mm 두께의 고무링을 설치하여 폭방향 팽창을 억제시켰으며 외측 가스켓 지수재의 부착 홈을 개선하여 밀림 발생이 없도록 하였으며/ 또한 부착 홈에 철판을 덧대어 부착홈 깊이를 순차적으로 조정하고, 지수재 탈락여부를 시험하여 당초 부착홈 깊이 6.5mm에서 적정 깊이 9.5mm를 도출 해냈습니다

개 선 전	개 선 후
	
노출치 평균 20mm 이상	노출치 평균 0.5mm 이하

그 결과, 개선전 지수재 노출치가 20mm이상이었으나 고무링 설치 및 부착홈 깊이 조정으로 노출치 평균 0.5mm이하가 되어 지수재 부적합을 감소시킬 수 있었습니다

개선결과 지수재 부적합개소가 138개소로 목표 대비 122퍼센트를 달성하였습니다

대책3	<ul style="list-style-type: none"> <li>전단키 설치로 볼트 체결 부적합 감소</li> <li>세그먼트간 볼트 체결시 과다조임으로 인한 콘크리트 면 손상 및 볼트 패킹 오링 파손으로 볼트 패킹오링과 볼트 홀이 밀착이 되지 않아 볼트체결 부적합 발생</li> </ul>
문제점	



세그먼트 연결볼트를 통하여 누수되는 것을 방지하고, 볼트홀이 콘크리트 면과 완벽하게 밀착되도록 오링에 전단키를 주었습니다

개선전 오링파손으로 인한 볼트홀과 오링사이 들뜸 현상이 발생되었으나 개선후 오링에 전단키를 설치하여 볼트체결부 부적합이 급격히 감소함을 볼 수 있었습니다

개선결과 볼트체결 부적합 개소가 당초 157개소에서 75개소로 감소하여 목표대비 122.4퍼센트를 달성할 수 있었습니다

● 볼트 홀 형상에 맞는 패킹 오링 설치 : 볼트 홀과 밀착		개 선 전
		
		개 선 후
< >	< >	

대책4	<ul style="list-style-type: none"> <li>주입 재료 변경으로 주입 홀 부적합 감소</li> <li>그라우트 파이프, 마개 재질 및 형상 변경으로 주입 홀 부적합 감소</li> </ul>
문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>몰탈 주입시 주입재료 및 배합비 상태가 부적정하여 재료분리, 주입 홀 막힘 현상으로 여굴부에 공극이 발생하고, 여굴부를 따라 유로가 형성되어 주입 홀 부적합 발생</li> <li>스틸 파이프는 녹이 발생하고, 마개는 강한 체결력을 받을 경우 파손되어 그라우트 파이프와 콘크리트 경계면을 통하여 누수가 발생되어 주입홀 부적합 발생</li> </ul>

당초 몰탈 주입에서 시멘트 밀크로 주입 배합방법을 개선하여, 재료 분리 및 주입홀 막힘을 최소화 하였습니다.


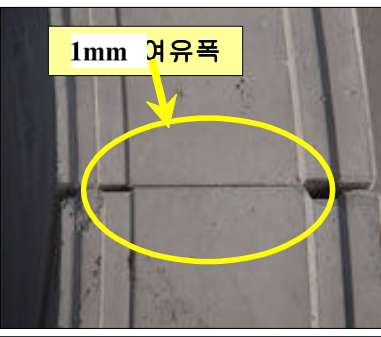

또한 당초 스틸 재질이었던 파이프, 마개를 플라스틱으로 변경하고 요철을 두어 누수를 감소할 수 있었습니다

개 선 전	개 선 후
	 <p>녹 발생 및 마개파손 방지</p> <p>재료분리방지로 여굴부 유로를 차단하여 부적합 최소화</p>

몰탈 재료를 변경하여 몰탈의 경화시간을 지연시켜 재료분리를 방지하고, 파이프 형상 및 마개를 변경하여 주입홀 부적합을 감소 할 수 있었습니다.

개선결과 당초 140개소에서 개선후 63개소로 목표대비 130.5퍼센트를 달성할 수 있었습니다

대책5-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>세그먼트 연결면 여유폭 확보로 연결면 파손 부적합 감소</li> </ul>
문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>셴드 추진시 기 조립된 세그먼트를 반력대로 사용하나 세그먼트 연결면은 평평하게 제작되어 있으므로 국부적인 하중에도 균열 또는 파손이 발생하는 등 연결면 파손 부적합 발생</li> </ul>

개 선 전	개 선 후
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>  </div> <div>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;"> <p>세그먼트 연결면 파손 최소화</p> </div>

셴드TBM기계 추진시 국부적 균열 및 파손을 방지하기 위하여 세그먼트 제작시 세그먼트 이음면에 약 1mm정도의 여유폭을 둔 결과 연결면이 양호한 것으로 나타났습니다  
개선결과 연결면 파손 부적합을 개선전 96개소에서 개선후 60개소로 감소시켰으나, 목표 대비 14.3퍼센트가 미달되었습니다

대책5-1 실시후 터널 곡선부에서 연결부 이음면 파손으로 인한 재작업이 발생되었습니다. 이에 따라 곡선부 연결부에 대한 2차 대책을 실시하기로 하였습니다

대책5-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>보강 철근 배근으로 연결면 파손 부적합 감소</li> </ul>
문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>셴드 TBM 터널 시공시 파쇄대 출현등 지질여건 변동으로 인해 선형이 뒤틀려 터널 곡선부를 형성하게 되며 이때 발생하는 모서리 균열로 인한 연결면 파손 부적합 발생</li> </ul>

개 선 전	개 선 후
	

기존의 철근배근 방식은 철근가공시 발생하는 곡률에 의하여 모서리에 피복이 부족한 것으로 나타나, 모서리에 보강철근을 배근한 결과 모서리 연결면 파손을 줄일 수 있었습니다  
2차대책 실시결과 연결면 파손부적합이 개선전 96개소에서 개선후 51개소로 감소하여 목표 대비 107.1퍼센트를 달성할 수 있었습니다



## 결과분석

먼저 전체 세그먼트 누수 부적합 개선 결과를 분석해보면 당초 1,360개소에서 개선후 806개소로 감소하여 목표 대비 119.6퍼센트를 달성하였습니다.

항목별 결과를 분석해보면 단차 부적합 감소는 목표 대비 104.8퍼센트, 지수재 부적합 감소는 목표 대비 112 퍼센트, 볼트체결 부적합 감소는 목표 대비 122.4퍼센트, 주입홀 부적합 감소는 목표 대비 130.5퍼센트, 연결면 파손 부적합 감소는 목표 대비 107.1퍼센트 달성하였습니다.



## 효과파악

유형효과로는 인건비 및 재료비 절감 등으로 약 삼천삼백만원을 절감하였고, 이중 정착부 설치 등 투자비용 천만원을 제외하면, 연간 약 삼천삼백만원을 절감한 것으로 나타났습니다. 무형효과는 다음과 같습니다.

분임  
조면

● 전문기술 습득으로 개인의 직무 수행 능력 향상

최고의 품질분임조  
"역시 우리가 최고야!"

사업  
소면

● 품질개선활동을 통한 자체 기술력 증진

활기찬 직장 생활  
"정말 일할 맛납니다!"

고  
객면

● 양질의 전력공급으로 지역사회 발전에 기여

고객 만족 실현  
"온 국민을 고객으로 모십니다!"



## 표준화

8가지 개선책을 실시하여 표준화 도면을 등록하였고, 전력구 건설분야 쉴드TBM 작업절차서의 개정 승인을 득하여 시공품질점검표를 전사 확대 시행토록 하여 품질개선에 만전을 기하였습니다



## 사후관리

지속적인 사후관리를 통하여 누수 부적합 개소를 당초 1,360개소에서 개선후 800여 개소로 꾸준히 유지하고 있습니다





## 활동소감



### 어려웠던 일

- ✓ 바쁜업무로 인해 한달동안 분임조활동을 집에서 아이재우고 새벽까지할때
- ✓ 현장 작업자들의 비협조로 인한 작업수행의 어려움
- ✓ 일과시간 외의 원거리 현장 이동 및 자료수집이 어려움
- ✓ 시간의 제약(개인업무 수행 후 참여 등)으로 인한 토론시간 부족

- ✓ 일정으로 힘들어도 모두 단결하여 합의점에 도달했을 때
- ✓ 내가 낸 안건이 채택되었을 때
- ✓ 분임조원간의 유대관계 강화
- ✓ 부서장의 격려와 지원이 있었을 때



### 즐거웠던 일



## 활동을 마치며...

현장과 사무실을 오가며 휴일도 잊은 채 분임조 활동에 열정을 발하였듯이 저희 분임조는 꾸준한 노력과 발상의 전환으로 품질개선 활동을 지속적으로 추진하여 고객만족 실현 및 전력구 건설 위상정립에 이바지 하고자 합니다.



현재진행중인 주제

『전력구 기반보강공법 개선으로 공사기간 단축』  
감사합니다