

도심지 지하상가 연결통로 DSM(Divided Shield Method)공법 적용사례 연구 A Study of Applications of DSM in tunnelling to an underground shopping-area

홍창수¹⁾, Chang-Soo Hong, 황대진²⁾, Dae-Jin Hwang, 이강호³⁾, Kang-Ho Lee,
조금식⁴⁾, Keum-Sik, Cho,

- 1) 삼성물산(주) 건설부문 기술연구팀 선임, Senior Researcher, R&D Team, Samsung Corporation
- 2) 삼성물산(주) 건설부문 기술연구팀 수석, Principal Researcher, R&D Team, Samsung Corporation
- 3) 삼성물산(주) 건설부문 TA팀 전문위원, Technical Advisor, TA Team, Samsung Corporation
- 4) 삼성물산(주) 건설부문 서초복합상가연결통로 현장 소장, General Manager, Samsung Corporation

SYNOPSIS : Recently, it is used to join an building to an underground shopping-area in urban. When we construct Seo-Cho Complex building which is in Seoul, we also construct an underground passage to the Gangnam underground shopping-area. But it is difficult to excavate in the downtown area, because excavations induce traffic jam and public discontent.

Considering safety, a confined area, settlements, we decided to use DSM(Divided Shield Method) which is based on messer shield. This paper will produce our experience and the results provide a useful guide in a connection tunnel

Keywords : Divided Shield Method, a confined area, no excavations, a connection tunnel

1. 서론

산업사회의 발전에 따라 도시기능이 활발해지면서 현재 도심지에는 지하철, 전력구, 라이프라인 등의 지하구조물이 매우 복잡하게 축조되어 있다. 또한 도시화로 인해 빌딩과 주변 지하정거장과의 상권 연결 및 지하통로 등의 수요가 증가하고 있으며 이러한 구조물을 축조하는데 있어 기존의 복잡한 지하매설물과 개착으로 인한 교통난, 민원 등으로 비굴착 터널공사가 자주 시행되고 있다.

서초동 복합상업시설 지하연결통로공사는 신축건물인 서초복합빌딩 지하2층과 강남역 지하상가(지하1층)를 연결하는 연결통로 공사로서 복잡한 지하구조물(하수암거 등)과 개착으로 인한 교통체증 및 민원을 피하기 위해 터널로 계획하였다. 또한 공사부지가 협소한 관계로 반력벽이 필요 없으며 선형변화가 비교적 자유로운 메사쉴드(messer shield)공법의 일종인 DSM(Divided Shield Method) 공법으로 시공하였다. 본 고에서는 복잡한 도심지에서의 단구간 지하연결통로 시공방법으로 적합한 DSM 공법 적용사례를 보고하고자 한다.

2. 공사개요

본 공사는 그림 1.과 같이 강남역 사거리에 위치한 신축건물인 서초복합상가의 지하2층과 강남역 지하상가(지하1층)를 연결하는 연결통로 공사로서 지하 약 9.0m 위치에서 폭 6.2m×4.45m 의 박스형태로 공사기간은 05년 2월14에서 7월31일까지 5.5개월이며 연장은 22.2m이다. 연결통로 직상부에는 높이 4.0m,

폭 10.0m 의 2연/3연 하수암거가 존재하며, 시점부 주위에는 통신케이블, 상하수도 등의 지장물이 존재하였다.



그림 1. 대상구간 현황

대상구간의 지반은 도로면 하부로부터 매립층, 퇴적토, 풍화토, 풍화암 순으로 형성되어 있으며 연결통로 상부는 퇴적토로 하수박스의 누수로 인해 뿔층이 예상되었고, 하부는 N값 약 20정도의 보통조밀한 풍화토에 놓이는 것으로 계획되었다.

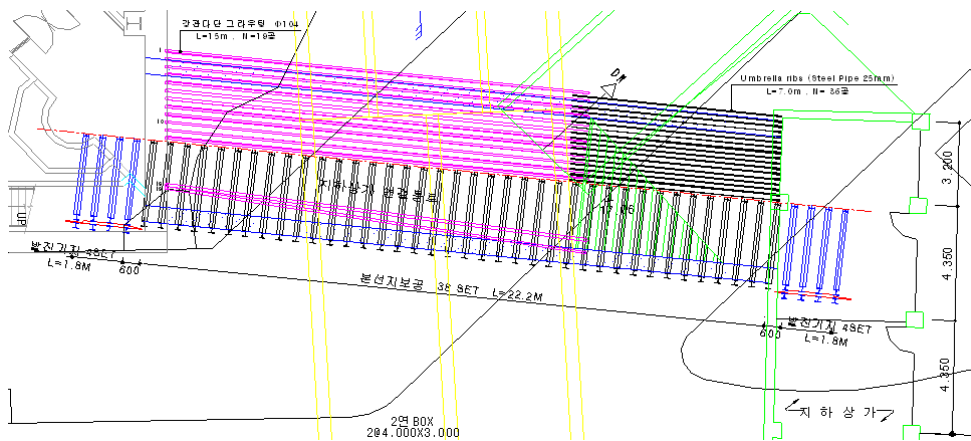


그림 2. 연결통로 평면 현황

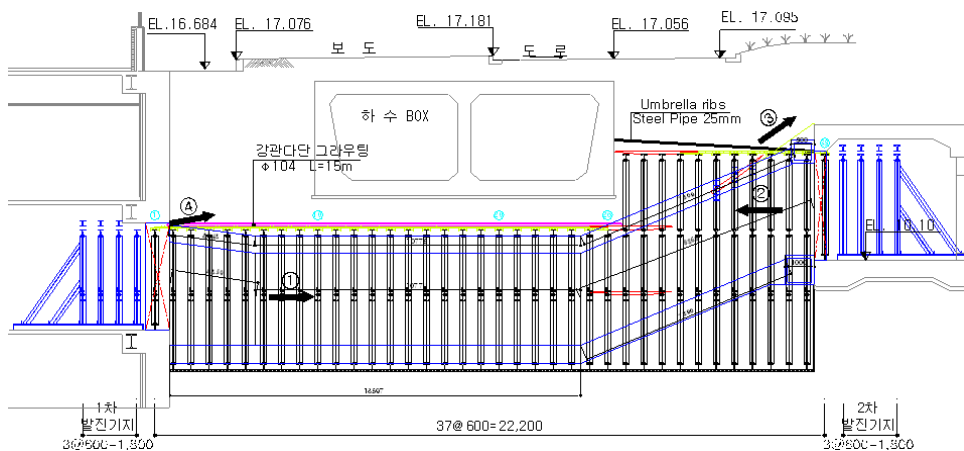


그림 3. 연결통로 종단 현황

공법선정시 개착으로 인한 도심지 교통체증, 복잡한 지장물 처리 및 민원 등을 감안하여 터널로 선정하였으며, 저토피, 단구간, 연약한 지반조건, 직상부 하수박스 및 도로의 균열방지 등을 감안하여 무굴착 공법을 선정하였다. 또한 추진장소가 협소하였으며, 신축건물에 하중이 가해지지 않도록 추진반력벽이 없는 공법, 종단선형변화가 비교적 쉬운 공법 등을 감안하여 메사쉴드의 일종인 DSM(Divided Shield Method) 공법을 선정하였다.

표 1. 비개착공법 비교

구 분	압입공법		견인공법
	DSM 공법 (Divided Shield Method)	TRcM 공법(Tubular Roof construction Method)	Front Jacking 공법
개요	종래의 Messer Shield공법의 장점을 유지하면서 굴착판넬의 강성과 Jack Power를 증대시켜 연속판넬을 끌고나가면서 RC등으로 복공하는 공법	강관을 유압Jack으로 압입한후 강관 내부굴착 및 철근배근 후 콘크리트를 타설하여 상부슬래부를 형성하고 강관 하부를 굴착하면서 측벽을 형성하여 구조물을 축조하는 공법	현장에서 제작한 콘크리트 구조물을 P.C 강연선과 유압 Jack을 사용하여 지중의 소정 위치에 견인하여 축조하는 공법
적용 토질	· 모든 토사지반 적용가능 · 연약지반 시공시 보강그라우팅 병행	· 토사층 시공가능	· 토사층은 시공 가능하나 전석층은 시공곤란
장·단점	· 방향수정이 가능하므로 선형이 곡선인 경우도 적용가능 · 단면형태 및 크기에 관계없이 분할굴진으로 지반이완 최소화 · 협소공간에서도 추진가능 · 인력굴착 · 지하수유출이 심한 경우 시공이 어려움	· 대형강관을 사용하여 지지효과 우수하며 지반이완 최소화 · 작업구 길이가 12m이상 필요 · 곡선구간 시공불능 · 강관내 굴착 및 철근배근시 작업공간 협소	· 시공이 확실하고 안정성 높음 · 시공실적이 많으며 콘크리트 품질관리가 용이 · 공기, 공사비에서 불리 · 대규모 작업으로 방향전환불리 · 외국업체와 기술제휴된 특수공법

3. DSM(Divided Shield Method)공법 시공

3.1 DSM 공법개요

DSM(Divided Shield Method)공법은 Messer Shield 공법을 기초로한 공법으로써, Messer Shield 공법의 장점은 그대로 유지하면서 지하공간 굴착에 있어 안정성을 확보하고 주변지반의 변형 극소화를 도모하고자 개발된 터널굴착 시공법이다. 특징은 아래와 같으며 지반 특성에 따라 $N < 30$ 인 경우, 꼬리부에 연속적으로 연속판넬을 연결하여 끌고 나가는 방식을 적용하고, $N \geq 30$ 인 경우에는 종래 Messer Shield 판넬의 꼬리부를 T형 구조로 보강하여 꼬리부에 토류관 대체용 SLC(구조용 경량콘크리트) 등으로 복공이 가능하도록 하는 방식이다.

- Messer Shield 공법의 장점(분할굴착, 방향수정, 안정성, 시공중 대처능력 등)을 승계
- Messer Plate 단면의 형상개선(Plate 두께가 얇아지고, 폭이 넓어짐 ; 두께 12cm, 폭 40cm)
- 굴착판넬 Hood부 열처리로 강성을 증대하고 유압 Unit 추진력확대(15ton Jack 2대 병용가능)로 막장 근입시의 문제점 개선
- 기존의 토류관 대신 RC판넬 혹은 경량콘크리트 판넬로 대체하여 토압의 균등분배, 부식으로 인한 장기침하를 예방

- 기존의 Plate 꼬리부(캔틸레버형식) 처짐을 개선하기 위해 T형구조로 변경
- 연약지반 출현시 보강공법 병용가능
- 추진작업시 막장에서 지장물의 확인 및 대처가 가능함

3.2 DSM 공법 시공순서

DSM 공법은 아래와 같은 주요단계를 걸쳐 시공하게 된다.

1. Winch Tower 설치	2. 발진기지 설치	3. 보강그라우팅(필요시)
 <p>※ 용강기에는 시공이 타서는 안되며 '안전 사고에 대비하여 김미동스캐폴드를 단원 선단에 설치하여 용강기 후방면에 안전 표지(순조심, 망수금지)를 부착하며, 용강기를 사용하지 않는경우에 시간장차 후 밀착한다. 또한 용강기의 진동시 중간부, 하단면에 인터폰, 경광등을 설치해놓는다.</p>		
4. DSM Plate 추진	5. RC판넬/쐐기목 설치	6. 막장굴착
		
7. 막장막이 설치	8. 강지보공 설치	9. DSM 추진/반복
		
10. 1차 라이닝	11. 방수공사	12. 본체 구조물 제작
		

3.3 현장 시공

3.3.1 하수Box통과부 보강

당현장에서는 그림 2.에서와 같이 터널 직상부에 2연/3연이 접속되는 하수구 박스가 존재하고 있으며, 오래전에 시공되어 바닥콘크리트가 없는 상황이므로 본터널 시공시 하수가 누수될 우려가 제기되었다. 이에 시공전에 그림 4.와 같이 터널통과구간 하수박스 보수공사를 수행하였으며, 터널직상부 위로 그림 5.와 같이 강관다단 그라우팅을 시행하였다.



그림 4. 하수박스 보수공사



그림 5. 수평강관다단 그라우팅 시공

3.3.2 발진기지 설치 및 DSM 1차굴착

수직구 터파기 완료 후, 그림 6.과 같이 버럭 반출용 Winch Tower를 현장 제작 설치한다. 또한 그림 7.과 같이 Plate 및 강지보재 추진을 위한 추진기지를 설치하였다.



그림 6. Winch Tower 전경



그림 7. 추진기지 설치

1차굴착은 그림 3.에서 처럼 하수박스 직하부구간을 말하며 그림 8.과 같이 60cm 간격으로 강지보재를 설치하고 막장면은 16분할 면으로 인력굴착을 실시하였다. 시공순서는 3.2.에서와 같이 DSM Plate를 추진하면서 꼬리부에 RC판넬을 삽입하여 토압이 균등분포 되도록하며, 췌기목을 사용하여 RC판넬이 굴착면에 밀착되도록 췌기목을 설치하였다. 막장굴착 후 막장막이를 설치하고 강지보공을 설치하며 이후 DSM 추진 반복작업을 실시하였다.

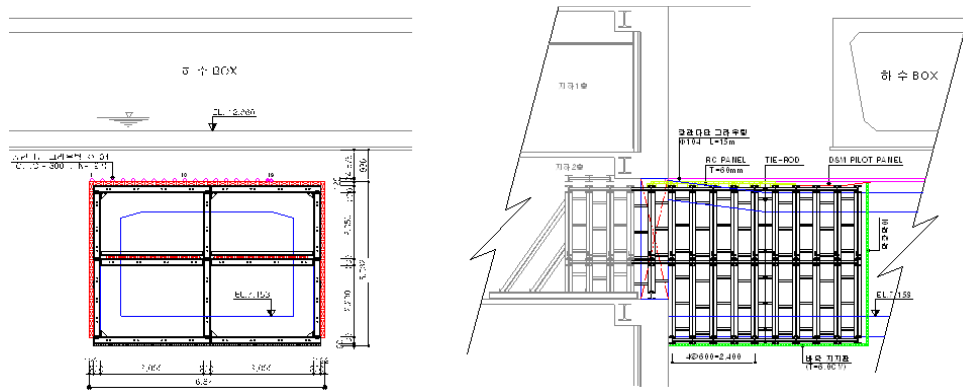


그림 8. DSM 터널 1차 굴착

3.3.3 DSM 2차 굴착

2차굴착은 그림 3.과 같이 강남역 지하상가 측으로부터의 굴진을 말하며, 터널상부에 Umbrella ribs와 LW그라우팅으로 선보강하였고 Face bolt를 시공하였다. 그림 10. 및 그림 11.과 같이 추진기지 설치후 상가벽체를 깨고 막장막이를 설치한 후 굴진을 실시하였다. 그림 9.에서 시공시 상수도관(φ 1,200mm)이 출현하여 2차굴착시 굴착면을 변경하였으며, 1차굴착시 계단부 불필요한 굴착을 줄이기 위해 굴착면을 변경하였다.

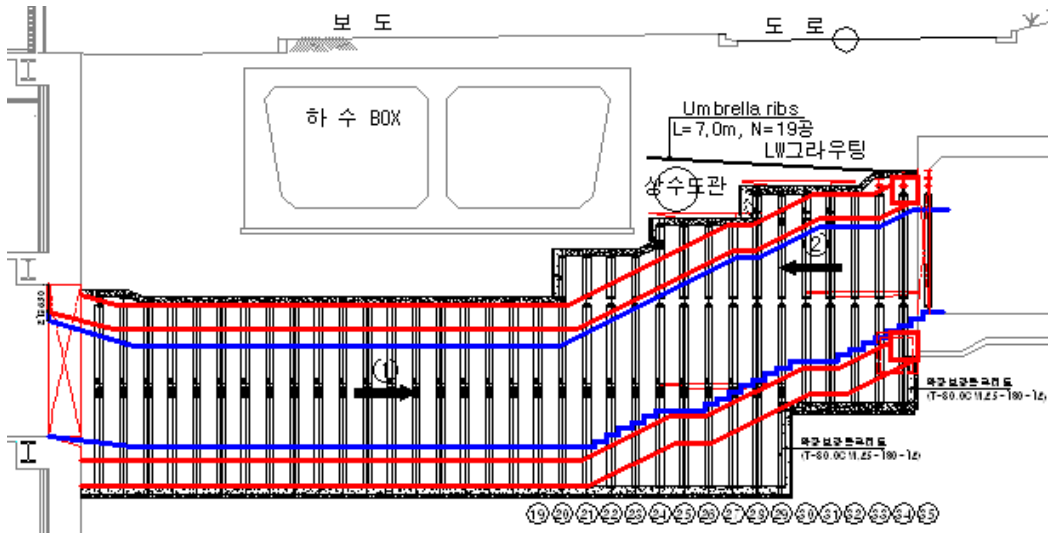


그림 9. DSM 최종 굴착단면도

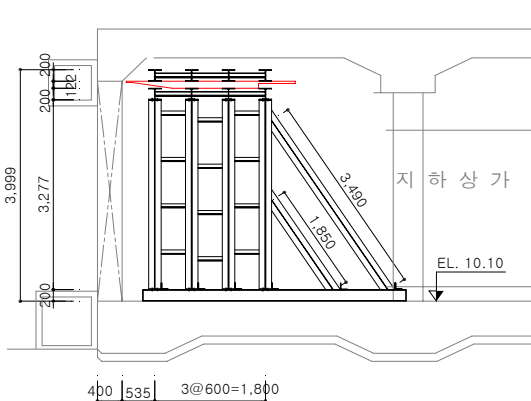


그림 10. 상가측 추진기지



그림 11. 막장막이 설치

4. 시공시 주의사항 및 계측결과

4.1 시공시 누수사례

12m 굴진시(강지보 20본 설치) 그림 12.에 표시된 바와같이 강지보 17번 천단좌측에서 오수가 누수되었으며, 20번 좌측끝과 막장에서 누수가 보였다. 이는 하수구 박스 2연과 3연이 만나는 연결부에서의 누수로 추정되었으며 확인결과 그림 13.과 같이 하수박스 연결부에서 균열이 발견되었다. 이에 시점부에서 차수그라우팅을 추가로 실시하였으며, 1차라이닝 구간에 유도배수를 하였고, 그림 14.와 같이 Backfill 그라우팅을 통해 문제를 해결하였다.

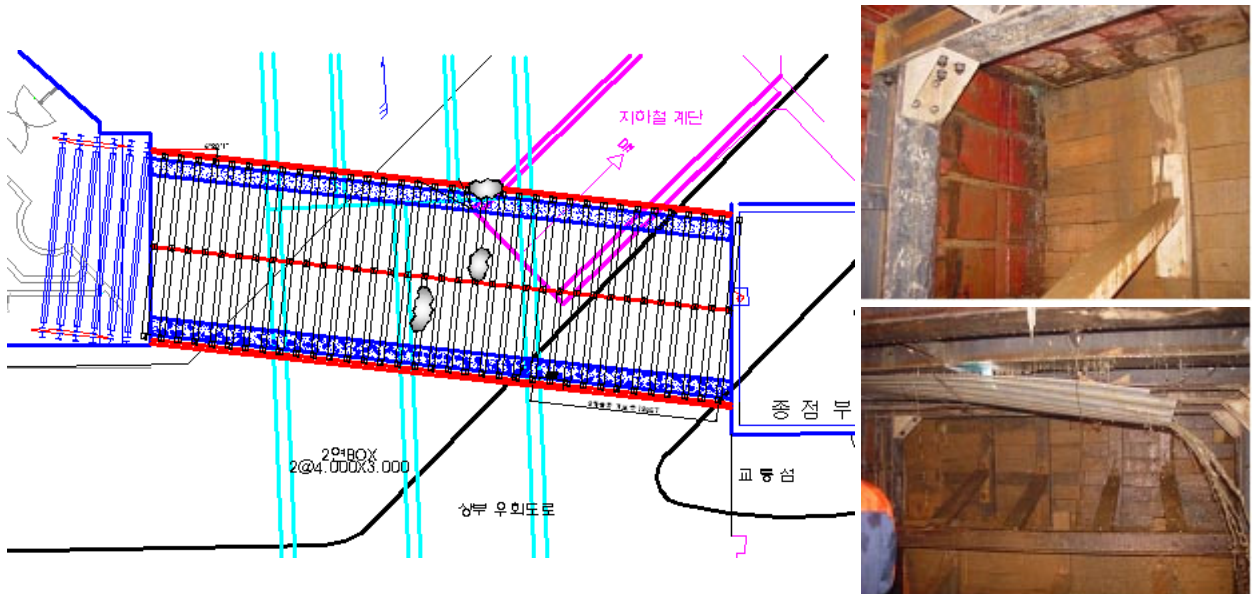


그림 12. 시공중 누수위치도



그림 13. 하수박스 연결부 균열



그림 14. Backfill 그라우팅 전경

4.2 계측결과

계측기는 지표침하계 8개소, 건물경사계 7개소, 균열측정계 8개소, 도시가스침하측정봉 2개소, EL Beam 4개소를 그림 15.와 같이 설치하고 굴착시 1일 2회이상 지표침하를 측정하여 침하에 대한 영향을 평가하였다. 가스관(PLP관으로 인장력 있음)은 침하관리기준은 없으나 지하철 911공구에서 75mm으로 설정한바 있다.

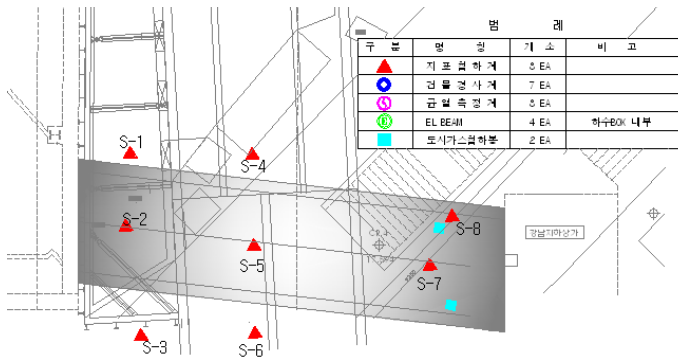


그림 15. 계측 평면도



그림 16. 지표침하계(S-7, 8 위치)

침하는 전구간에서 안정된 침하를 보이고 있으며, 그림 17.과 같이 전반적으로 터널중심축이 주변지반보다 변위가 약간 크게 발생하였다. 시점부에서부터 하수박스가 끝나는 부근까지는 침하가 거의 발생하지 않았으며, 이는 상부구조물에 의해 응력이 주변지반으로 분배됐기 때문이라고 판단된다. 종점측(S-7,8번)에서는 최대 약 20mm 정도의 지표침하가 발생되었으나 유관상으로는 발견할수 없었으며, 가스침하봉은 약 7mm 침하로 안정한 것으로 판단된다.

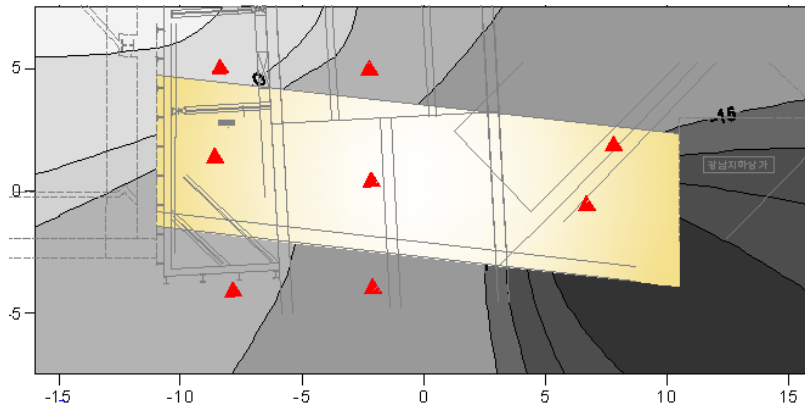


그림 17. 지표침하 분포도

5. 결론

향후 도시화에 따라 도심지 저토포 토사구간에서의 연결통로구간 수요는 늘어날 것으로 전망되며, 본 시공결과나 지하연결통로 공법선정시 유용한 자료가 되리라 판단된다.

또한 짧은구간에서 반력벽이 필요없고 추진기지 공간이 협소해도 토사 반출구만 확보되면 시공이 가능한 DSM 공법은 지반의 이완이 거의 없으며, 본공사에서도 지표침하는 최대 20mm가 발생하였다.

DSM 공법은 굴착중 지하수 유출등에 대한 대처가 용이하고, 지반상태에 따라 분할단면 및 횡수가 조정이 가능하며, 노선이 직선이 아니더라도 좌우상하 시공이 가능하므로 도심지 구간에서 적극 활용할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. 이정인, 조태진, 이연구 편저(1997), **암석역학을 이용한 터널설계**, 구미서관, pp. 121-204
2. 천병식, **건설기술자를 위한 지반주입공법**, 원기술, 1997
3. 표준EC, "DSM 공법(Divided Shield Method)"