

수갱공사의 기술적 문제에 대해서 (IV)

李 隆 種

On The Technical Problem in The Shaft Works (IV)

Yung-Jik Rhee

1. 서 론

기 발표된 보문에서, 정수두압이 작용하는 수갱측벽의 두께 산정과 수갱굴하의 특성을 간략하게 설명하였다. 이 두 부문에 대해서는 계속 다루어 나갈 예정이며, 본 회(回)부터는 수갱굴하의 원론적인 문제도 검토하기로 한다.

광산이나 탄광의 수갱은, 심부에 부존하는 광체 또는 탄층에서 채굴된 광물과, 갱도 굴진에서 나온 버력을 권양(捲揚)하고, 작업 인원, 제반 자재, 압기(壓氣) 전기, 급수(給水) 등을 공급하고 안전한 갱내 작업을 유지하기 위한 통기회로(通氣回路)를 형성하고, 또한 갱내수(坑內水)를 배출하는 다목적의 대동맥(大動脈)과 같은 역할을 하는, 말하자면 광산의 가장 핵심체이다.

수갱공사는 광산공학은 물론이러니와, 토목, 건축,

기계, 전기, 제어(制御) 등 여러 분야를 망라하여 그래서 Mine Plant라고도 한다. 따라서 수갱굴하 작업은 이 종합적인 Mine Plant의 한 분야에 불과한 것이며, 굴하 완료 후 계획된 생산을 하기 위해서는, 이에 알맞는 권양시설 즉, Winder, Skip, Cage, Button, Guide, Loading, Unloading, 선탄장까지의 운반(Conveyor System) Trolley, Battery, Diesel Loco 시설, 그리고 이에 필요한 모든 부대시설을 해야 하고, 또한 필요한 통기량을 확보하기 위해서 선풍기시설, 배기(排氣) Shaft와 선풍기를 연결하는 배기 갱도(Fan drift), 기타배수, 동력, 통신시설의 설계, 시공을 함으로써 비로서 모든 시설의 완공을 보게 되는 것이다.

그런데 이 Plant는 비단 광산에서만 있는 것이 아니고 지하유류 저장시설(주로 LPG)의 경우도 적용된다. 그 좋은 예가 1980년 중반에 완성된 영국의 Killing Holme LPG Storage¹⁾로서, Propane, Butane 각각 125,000 m³의 지하 저장 시설을 Shaft에 의해서 시공했다. 이 경우 Shaft는 재래식 방법(Conventional Method)이 아니고 대구경 굴착기에 의해서 내경 2m의 Shaft를 뚫었는데, 직경을 이렇게 작게 한 이유는 통과 지층의 조건, 공기(工期) 단축, Shaft Plug의 경량화(輕量化)를 위해서이다. 그러나 125,000 m³라는 적지 않은 굴착물량을 권양하기 위해서 Play Load(積載荷重) 약 5톤, Rope speed 7 m/sec의 Winder를 설치해야 했고, 또한 Shaft 직경이 작기 때문에 Skip의 길이가 길어지고 따라서 상하 Loading, Unloading Point에서의 over winding 방지 시설에 특별한 유의를 하였다.

장차 이 나라에 지하 LNG 저장시설이나, 핵폐기물 저장시설의 건설 가능성을 전혀 배제하지 못하는 마

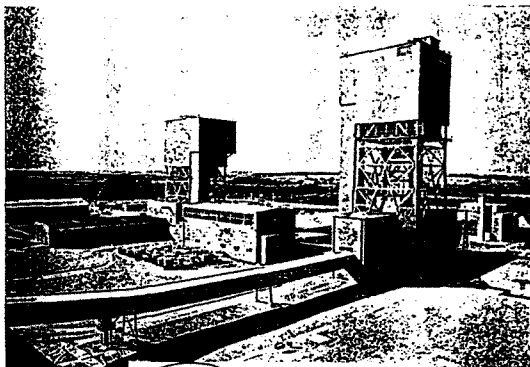


Fig. 1. 주권양기탑 전경.

* 1994년 8월 19일 접수

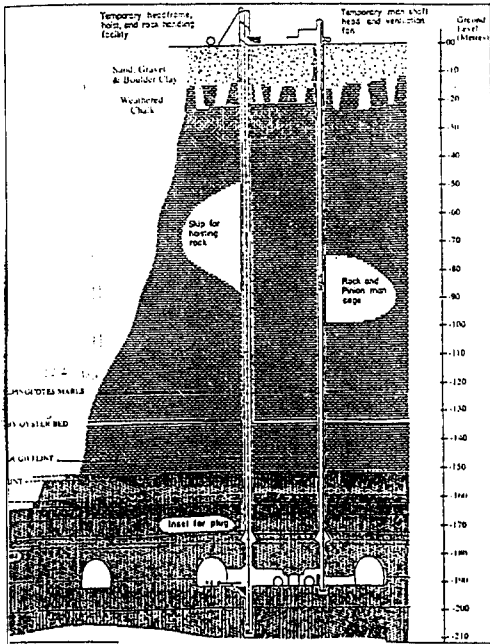


Fig. 2. Killing Holme LPG Storage.



Fig. 4. Fore Shaft 시공.

- 갱저(Shaft Sump)
- 배기 수갱인 경우에는 Fore-Shaft 부분에서 Fan Drift가 분기(分岐)된다.

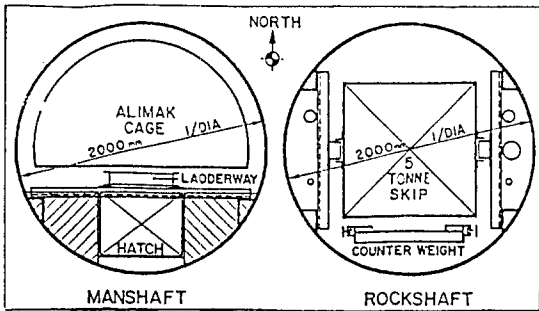


Fig. 3. Shaft 설비도.

당에 따라서 이 Shaft에 관한 기술을 계속 전승(傳承), 발전시켜야 하는 필요성이 바로 여기에 있는 것이다.

2. 수갱 굴하 순서

수갱은 다음과 같이 상부에서 차례로 몇가지 부분으로 구분된다.

- 갱구(Fore-Shaft)
- 수갱본체(Shaft)
- 수평분기점(Shaft-Inset)
- 적하시설 부분(Unloading Pocket)

2.1 Fore-Shaft

Fore-Shaft는 수갱굴하의 첫단계 구간으로서 이때는 Sinking Tower, Scaffold를 설치하지 못하기 때문에, Crane이나 Derrick을 사용하여 통상 30~40 m 심도까지 버럭반출, 인원승강, 측벽공사(Lining)를 한다. 특수한 경우에는 압기잠함법(Pneumatic Caisson),²⁾ 또는 Open End Caisson 공법을 택하는데 이것은 다량의 용수(湧水)가 있는 붕괴성 연약 지층에 적용된다. 그러나 Pneumatic Caisson은 하부 작업실 내의 가압을 인체가 견딜 수 있는 한도(약 3.5 기압)까지 할 수 있기 때문에 굴하(掘下) 가능심도는 일반적으로 약 45 m(점토층에서)가 한도이다. Caisson의 침하작용은 처음에는, Caisson 자체 중량이 지층과 접촉하는 Caisson의 외주벽(外周壁)의 표면 마찰 저항력보다 크기 때문에 일어나고, 심도가 깊어지면 저항력이 커져서, 추가 하중을 언저야 하나 이것은 한계가 있기 때문에 Open End Caisson의 경우는 30 m가 넘으면 거의 불가능하다.

그래서 개발된 것이 송기식(送氣式)³⁾ 방법이며, 외주벽과 지층 사이에 공기의 막을 형성해서 마찰저항을

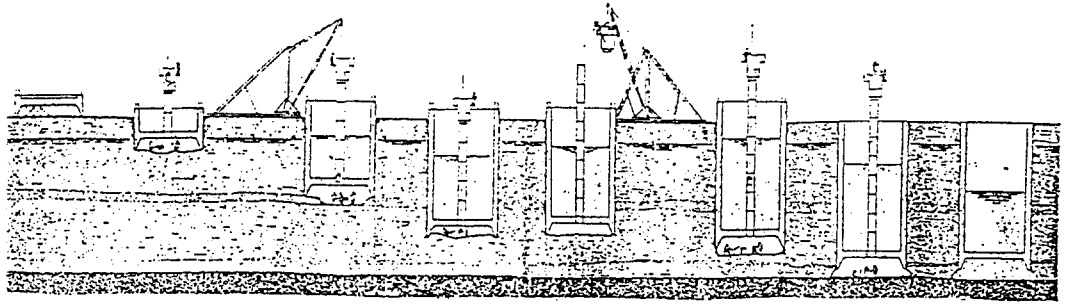


Fig. 5. 잠함침하 작업 순서도.

줄여서 굴하심도를 증가시키는 것이다. 이것은 일본에서 1940년대에 개발되었다. 일본은 구주(九州) 중부 서해안에 부존되어 있는 해저탄(海底炭)을 채굴하기 위하여 해안 매립지 또는 바다 가운데 축조(築造)된 인공섬에서, 이 공법에 의해서 최대 150m의 연약지층을 굴하하였다. 굴하속도는 Pneumatic의 경우는 Caisson 밑부분에 직접 사람이 들어가서 작업을 하기 때문에 Open End보다는 빨라서 월 25m 정도까지 내려갈 수 있다. Open End의 경우는 거의 Caisson 내에 물을 채운 상태에서 작업을 하기 때문에 월 8~10m가 한도이며, 또한 Caisson이 수직으로 침하할 수 있도록 Double Caisson(Outer Ring은 길이 20m 내외)을 설치한다. 그래서 九州 三地炭鑛 初島 수갱의 경우 심도 120m를 굴하하는데 약 2년이 걸렸다.

근래 개발된 Slurry Wall의 경우 국내 굴하실적은 35~40m 정도이나, 일본에서는 120m¹⁾까지 시공한 예가 있는데 이 경우 약 6개월이 소요된다. Caisson의 경우는 수갱의 필요한 단면, 형상(形狀)대로 시공할 수 있지만, Slurry Wall의 직경이 최소 10m는 되어야 하고, 그것도 완전 원형이 아니고, 한면의 길이가 약 1m 정도의 다각형이 된다.

그러나 대수층(Aquifer)이 150m 심도보다 더 깊은 곳에 있고 지층 또한 연약하면 그라우팅(Grouting 또는 Cementation) 또는 동결(Freezing)법으로 시공해야 하며 지층이 붕괴성일 때는 Freezing이 가장 안전하고 확실하다.

Freezing⁵⁾에 의해서 약 200m 굴하할 때, Boring 작업을 시작해서 Freezing, 굴하, Freezing 완료까지 약 2년 6개월이 걸린다. 이상 각각의 공법에 대한 주요 특성을 열거했다. 이것을 참고하여 통과 지층의 깊이와, 예정공기에 적합한 공법을 채택할 수 있고 또한

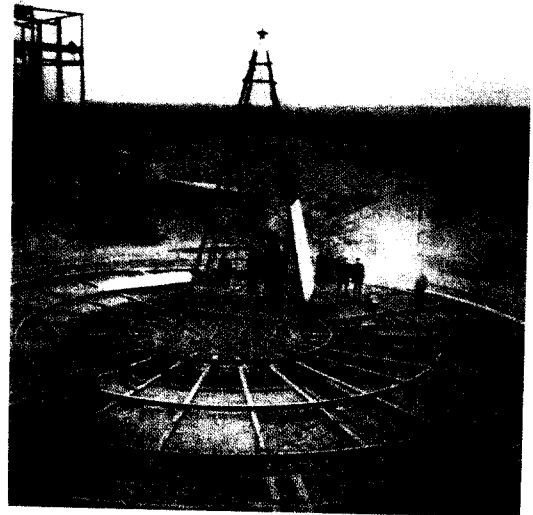


Fig. 6. Freezing Hole 천공.

공사계획을 수립하는데도 도움이 될 것이다.

동결 공법(Freezing Method)은 우리나라에서는 아직 시공 사례가 없지만, 그러나 TBM이 보급(普及)되어 가고 Shield 공법도 도입된 마당에 이 Freezing에 대해서도 관심을 갖고 연구, 검토해야 할 때가 온 것 같다. 이하 Freezing에 대해서 간략하게 설명코저 한다. 그 원리는 수갱굴착 전에 미리 대수층(帶水層) 하부까지, 수갱의 굴착 직경보다 1.5~2m 밖에 수갱과 동심(同心) 원주상에 간격 1.2~1.5m으로 동결공(Freezing Hole)을 천공하여⁶⁾(직경 6.6m인 경우 25공) 공(孔)내에 2중 Casing을 설치하여 이를 통해서 Freezing Plant에서 -20~-30°C 정도로 냉각된 Brine Water(CaCl₂ 용액)을 주입(注入) 순환시켜 지층을 냉동시켜 지하수를 차단하여 굴착하는 것이다.

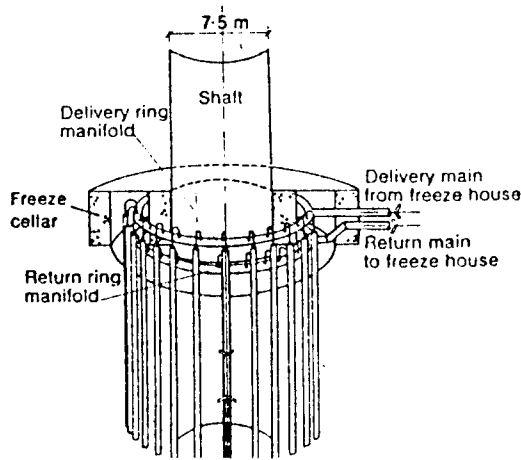


Fig. 7. Freezing Pipe 설치표.

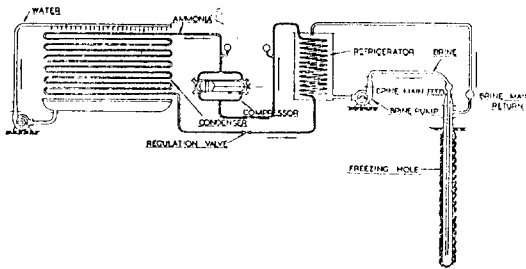


Fig. 8. Freezing Plant.

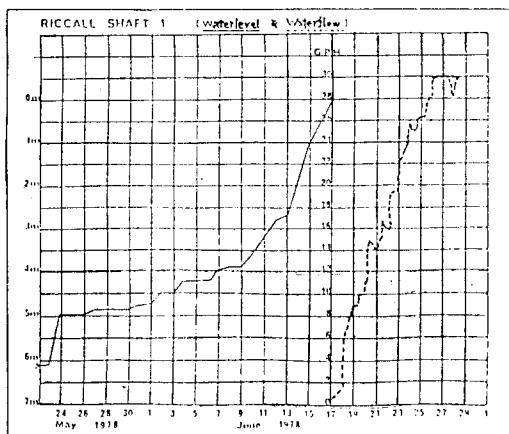


Fig. 9. Freezing 완료시 Shaft 내 수위와 출수변화.

냉동은 처음 공주변(孔周邊)에서 시작하여 Ice Bar (氷棒)을 만들고 이것이 서로 확대 연결되어, Ice Wall (氷壁)을 형성하고, 계속 확장되어 Ice Cylinder(氷筒)

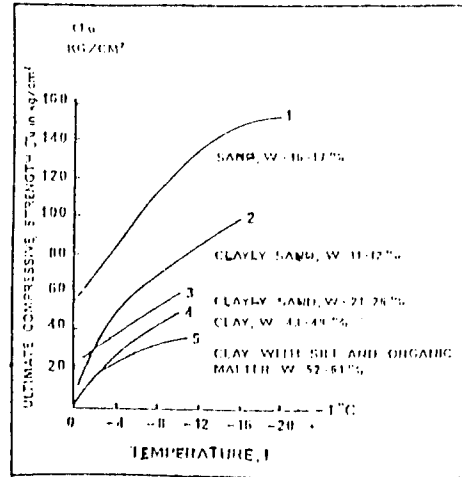


Fig. 10. Ultimate Compressive Strength as a Function of Temperature.

가 되는데, 이때 Ice Wall 안에 갇혀 있던 지하수가 점차 위로 밀려 올라와서 수갱 중심부에 천공된 조사공(Pilot Hole)을 통해서 용출(湧出)되며, 그것이 끝나면 Ice Cylinder가 완성된 것이다. Freezing을 시작해서 완성하는데 걸리는 시간은 여러가지 조건에 따라 다르나 대략 심도 100 m에 대해서 20일 내지 45일이 걸린다.

조사공^{7,8)}(Pilot Hole)에 의해서 통과 지층의 각종 지공학적 물성, 수리지질 특성을 조사하지만 이때 지층의 온도, 비열, 열전도도(熱傳導度), 잠열(潛熱) 등의 열공학(熱工學)적 특성도 파악한다. 또한 통과 지층의 함수율(含水率)과 온도변화에 따르는 압축강도의 증가율을 측정한다.

Freezing의 심도, 수갱굴착직경, 수갱주위에 세워질 권양탑(Winding Tower)의 기둥(Column)의 위치를 고려하여 Freezing Hole의 범위(수갱중심으로부터의 반경)가 결정되면 시공설계를 할 수 있는데 첫단계로 Ice Wall에(일단은 Ice Cylinder가 되지만, Cylinder 안으로 굴하하기 때문에 결과적으로 다시 Ice Wall이 된다) 작용하는 최대외압(통과 지층 최하부위 대수층의 심도에 따라 결정된다)에 견딜 수 있는 두께를 산정하는데, 이때 Ice Wall의 강도는 앞서 설명한 지층의 냉동 상태의 압축강도가 적용되는 것이다.

Ice Wall의 두께 산정식은 다음과 같다.⁵⁾

$$\frac{P}{K} = 1/2 \text{Log} \frac{a}{b} + 1/2 \left(1 - \frac{b}{a}\right) \quad (1)$$

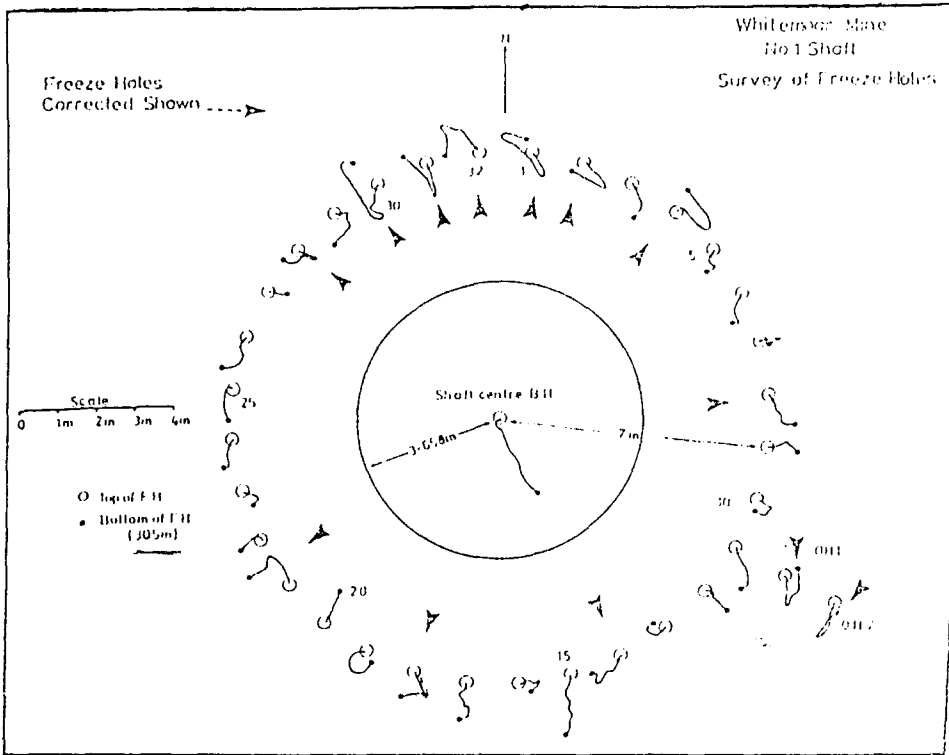


Fig. 11. Freezing Hole 변위 측정도.

여기서, P : 외압

K : Ice Wall의 허용압축강도

a : Ice Wall의 외부반경

b : Ice Wall의 내부반경

(1) 식은 시공경험에서 얻어진 일종의 실험식이다. 이 Ice Wall의 두께가 정해지면 계획된 기간내에 Freezing을 완료하기 위해서 Freezing Hole의 수와 간격, 2중 Casing 중의 내부 Casing의 직경, Freezing Plant의 용량 즉, 냉매(Refrigerant) 압축용 Compressor의 용량, 냉각수(Coolant) 순환용 Pump의 용량, 냉각수의 배관계통(Piping System) 등을 결정하게 되는데 그러기 위해서는 Freezing Hole 내에 설치된 Casing과 주벽 암반과의 냉각수에 의한 열교환효과, Hole 주위 암반내의 냉동상태의 확산등 열공학(熱工學)적 현상을 해석해야 하고 이것은 Pilot Hole에 의해서 수집된 각종 자료와 기타 냉각수의 특성, 흐름의 속도와 상태 Casing의 재질등 많은 변수에 의해서 이론 전개하는 것이다.

냉동방식은 우리가 가정에서 쓰는 냉장고와 같은

직접 냉동방식이 아니고 냉매(일반적으로 암모니아를 사용한다)의 기화열에 의해서 냉각수를 -20°C 내지 -30°C 까지 냉각시키는 간접방식이다(Fig. 8).

Freezing에서 제일 유의해야 할 점은 Freezing Hole 천공에 있어서 원위치에서 이탈하지 않도록 하는 것이다. 그래서 천공 방향을 임의로 조정할 수 있는 장비가 개발된 후부터는 Fig. 11과 같이 수정작업을 하면서 공(孔)의 수직성을 유지토록 한다.

수갱굴하, Lining 작업이 끝나면 Freezing을 끝내는데 이때 Freezing Hole 내외는 완전히 Cementing 하여, 지하 수압이 형성되는 것을⁹⁾ 미연에 방지한다.

Fore-Shaft는 배수갱도(Drainage Tunnel)를 이용해서 시공하기도 한다. 배수 갱도에 의한 방법은 Crane이나 Derrick 등 중장비의 동원이 여의치 않을 때 적용된다.

筆者가 담당했던 한성 탄광의 Shaft 공사에서 이 방법을 썼는데, 이것은 Shaft 갱구 약 30~40 m 하부에 배수갱도를 설치하여, Shaft 위치에서 Raising 하여 지표까지 올라와서 Shaft 크기만큼 Widening

하는 것이다.

Fore-Shaft^{10,11)} 중에서도 일반적으로 기반암(基盤岩)까지 내려가는 부분을 Shaft-Collar라고 하는데, 이 부분은 각종 굴하장비와 앞에서 말한 권양탑의 기초, 입기, 배기시설의 구조물이 설치되는 매우 중요한 위치이다.

2.2 Shaft : 수갱본체

정확한 숫자는 파악할 수 없으나 전 세계의 Shaft는 이미 폐기된 것을 합해서 2만(萬)개소를 훨씬 상회할 것이다. 따라서 그 규모도 실로 천태만상이다. 직경은 작게는 2m, 크게는 10m 이상되고, 형태도 구형(Rectangular), 원형, 타원형 등 다양하다. 구형은 주로 금속광산(Metal Mine)의 경우와 같이 암반이 견고할 때 채택되며, 타원형은 주로 남아프리카의 금광에서 이용하는데, 한개의 Shaft를 다목적용으로도 쓸 때 이 방식을 채택한다.

심도 또한 천차만별이다. 불과 수십 m에서 깊게는 역시 남아프리카의 2,000 m 이상되는 Shaft도 있다. 이 정도의 깊이가 되면 보통 우리가 생각하는 시공 기술과는 여러가지 면에서 다른데, 그 중에서도 특히 Winding Rope의 안전계수(Safety-Factor)를 들 수 있다. 국내에서 시행되고 있는 광산 보안법에 의하면 정하중의 경우 인원 승강에 대해서 심도에 관계없이

10, 광석, 자재에 대해서 6이라는 수치를 고수하고 있는데 반해, 남아프리카에서는 심도 4,000 m 이상일 때 안전계수가 4¹²⁾ 이하에 불과하다.

이 Rope에 관해서는 후에 설비(設備) 편에서 자세히 다룰 것이나, 여기서 Rope의 안전계수에 대해서 간단히 짚고 넘어가려 한다.

2.2.1 Rope의 안전계수

Fig. 14는 세계 각국의 Rope¹³⁾의 안전계수를 표시한 것인데 이것은 이미 50여년 전부터 시행하였다. 이 그림을 보면 비단 남아공 뿐 아니라 미국의 경우는 인원, 자재 가리지 않고, 처음부터 안전계수가 6이고, 심도 3,000 ft(약 900 m)이하에서는 4에 불과하다. 여기에는 표시되지 않았지만 인도의¹⁴⁾ 경우도 이와 비슷하다. 기타 여러나라도 심도 1,000 m 하부에서 인원에 대해서는 7이하이고 심도가 깊어짐에 따라 점차 그 수치가 감소된다. 유독 캐나다 British Columbia 주만 심도에 관계없이 일정하다(안전계수 6).

왜 이렇게 나라마다 깊이가 차이가 나는가? (캐나다의 경우는 주마다 다르다) 그것은 한마디로 Rope에 작용하는 충격 및 진동에 기인한(Kinetic Shock) 응력이 아직도 완전히 규명되지 않았기 때문이며 그래서 각국에서는 이 Rope에 관한 연구 조사를 꾸준히 하고 있으며 또한 심도 1,000 m 이상의 Deep Shaft를 굴하, 가동시키고 있는 나라에서는 일찍부터^{15,16)} 나름대로

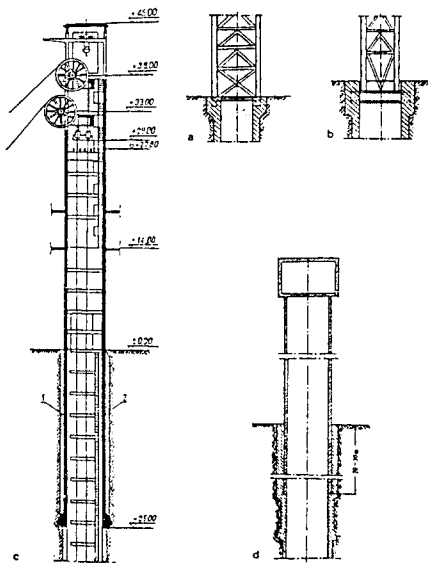


Fig. 12. Shaft Collar.

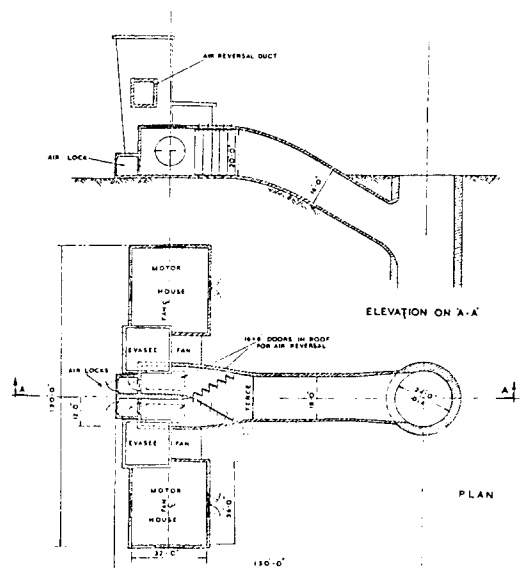


Fig. 13. Fan Drift.

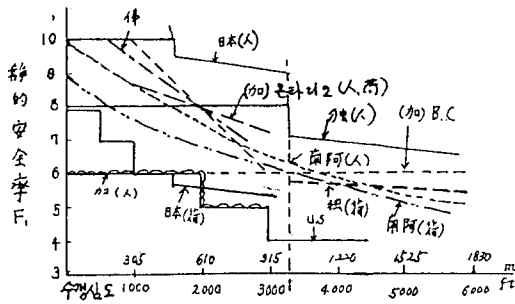


Fig. 14. 각국의 Rope 안전계수.

이론적인¹⁷⁾ 고찰과 경험을 통해서 안전계수를 낮추고 있는 것이다. Rope에 작용하는, 정하중, 가속도, 굴곡(Bending)으로 인한 응력은 비교적 정확하게 짚을 수 있으며 지금 정하중이 W이라고 하면, 가속도에 의한 것은 가령 가속도가 1 m/sec^2 이면 $0.1 W$, Bending에 의한 것은 $0.6 \sim 0.7 W$ 이내이다. 문제는 소위 Kinetic Shock에 의한 응력-하중인데 이것은,

- Rope의¹⁸⁾ Stretch(예컨대 심도 900 m, 하중 15 ton인 경우 Rope는 약 1 m 늘어났다) 때문에, 권상(捲上) 초기에 생기는 종진동(縱振動)
- 운전말기 Cage나 Skip에 가해지는 기계적·제동으로 인한 종진동
- Skip에 광석을 실을 때 생기는 충격에 의한 종진동
- 비상제동시 발생하는 종진동
- Guide가 완전수직으로 설치가 안됐을 때 생기는 횡진동(橫振動) 등인데,

이미 오래 전에 각종 제속장치에 의해서 각각의 경우에 대한 Stress의 크기를 Rope에 걸리는 순간 가속도를 측정하여 구한 바 있다. 이에 의하면 최대 $0.6 \sim 0.7 W$ 의 하중이 걸린 경우가 있다고 한다.

그러나 이런 충격 하중을 억제하기 위해서

- 가감속도의 조절 즉, 권상개시 때부터 최대 가속도에 의해서 속도를 증가시키는 것이 아니고 처음에는 소위 Creep Speed 즉, 낮은 가속도에서 시작하여 차차 가속도를 증가하여 Rope에 걸리는 충격을 줄이고(이것은 우리가 버스를 타을 때 경험하는 난폭운전과 같은 현상이다. 즉 Start 할 때 처음부터 최대가속도로 전진하면 충격에 의해서 몸이 뒤로 쏠린다),
- Skip에 적제할 때 Chute Gate를 여는 속도의

조절 또는 Skip 내에 완충 장치 등을 설치함으로써 충격을 줄이고

- 비상 제동장치를 개량함으로써 순간 감속도를 줄이고
- Buntion Guide 설치시 정확한 측량에 의한 정밀시공(장성 No.1 Shaft의 예)을 함으로써 횡진동 등을 억제하고 기타 Rope의 철저한 윤회를 하는 등 꾸준한 기술개량에 의해서 충격 하중을 0.3 m 이하로 억제하였다.

이외에 Rope의 회전(Spin)하려고 하는 힘 때문에 생기는 Tortion Stress가 있는데 이것은 Locked Coil Rope(우리나라에서는 양양광산에서 사용)나 Multi-Strand Rope 등의 Non-Rotaing Rope를 사용함으로써 해결한다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 고도의 기술수준을 갖춘 수갱설비를 했을 때 Rope에 걸리는 총하중은 정하중의 두배(2W)를 초과하지 않는다. 그렇다면 정하중에 대한 안전율은 $2W \times 3 = 6W$ 즉 6이면 족하다는 계산이 나온다. 그래서 미국, 캐나다 등은 처음부터 이 값을 택하고 있고 또한 Kinetic Shock는 Rope가 길어지고 따라서 그 부피가 커짐에 따라 Rope에 흡수되는 정도가 커지므로 심도가 증가하면 이 안전계수마저도 더 줄이고¹⁹⁾ 있는 것이다. 우리나라도 장성 No.2 수갱굴하(심도 1000 m) 당시 이러한 현실에 따라 안전계수를 재검토할 수 있는 기회가 있었다. 굴하작업 중에 생기는 Kinetic Shock로는 버력이 담긴 Kibble을 올릴 때가 제일 크다 이때 Rope는 밑으로 처져 있는 상태이기 때문에 Winder가 작동하기 시작하여 1~2초 경과해도 아직 Rope에는 장력이 안걸리는데 만약 Winder가 처음부터 등각 가속도(等角加速度) 회전을 하면 장력이 걸릴 즈음에는 속도가 커져서 Rope에 갑자기 큰 충격이 걸린다. 그래서 이때도, 처음에는 아주 낮은 가속도(약 0.1 m/sec^2)에서 시작해서 차츰 증가시킨다. 이렇게 함으로써 Rope에 장력이 걸릴 때 큰 충격이 걸리는 것을 피할 수 있다.

2.2.2 굴하방식

굴하 방법은 대별(大別)해서 두가지, 즉 재래식(Conventional Shaft Sinking)과, 대구경 굴착(Large Dia Boring)으로 나눌 수 있다. 갱내구조의 골격을 형성하는 Staple Shaft(또는 Blind Shaft), Spiral Chute 등의 시공은 Raise Boring Machine(RBM)의 이용이 활발하다. RBM이나 대구경 굴착기에 의한 시공 방

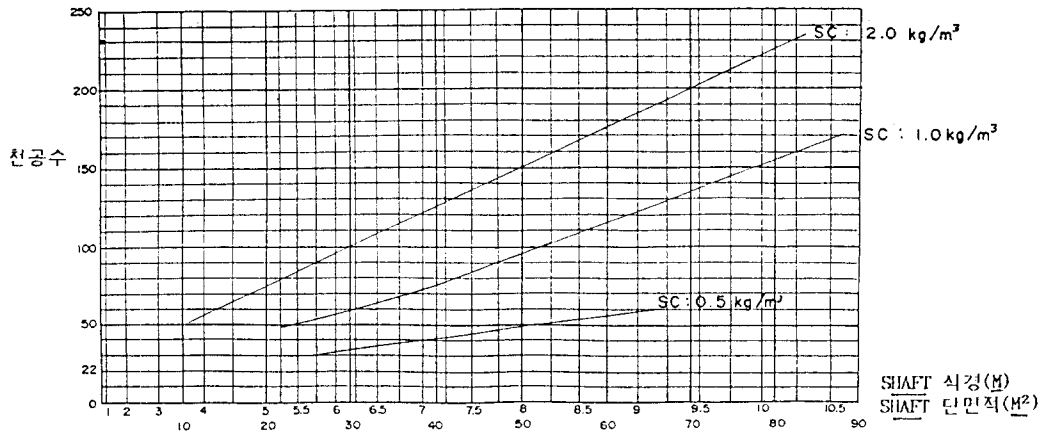


Fig. 15. Shaft 크기와 천공수의 관계.

법은 별도로 다루기로 한다. Conventional Sinking의 순서는 천공, 발파, 배연(排煙), 버럭처리, 버럭권양, 측벽공사이며, 이들 단위작업을 별도 또는 굴착과 측벽을 병행하는 동시공법이 있다.

2.2.3 천공

천공 작업은 전에는 주로 Sinker를 사용하다 1960년경부터 Kneumatic Jumbo(3~4 Boom)이 개발되어 작업능률이 비약적으로 향상되었다. 일례로, 석공 장성 제 2 수갱공사의 경우 3.6 m 천공에 준비 작업 3분을 합해서 약 7분이 소요되었고, 천공 정미 속도는 0.9 m/min이다.

천공수는 여러가지 Parameter(단면적, 천공길이, 암질, 공경, 폭약성능 등)에 의해서 결정되나, Fig. 15에서와 같이 국내외 수갱공사의 천공수 실적을 Graph에 Plot 해 보면 대체적으로 Specific Charge(입방당 폭약소비량)과 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이것은 어느 공사에서나 공경(孔徑), 폭약성능, 파쇄도 등의 조건은 대동소이하며 따라서 천공수를 결정하는 지배요소(Governing Factor)는 암질이기 때문이다.

2.2.4 발파

발파방식은 이미 설명한 바와 같이(수갱 공사의 기술적 문제에 대해서-II), 직렬, 병렬의 두가지(특수한 경우 직병렬로 사용한다)가 있으나, 염수(Brine Water)가 Shaft 내에 들어올 경우 각별한 주의가 필요하다. 필자가²⁰⁾ Winsford Rock Salt Mine Shaft에서 실습할 때, 下發事故가 자주 발생하였다. 직렬방식을

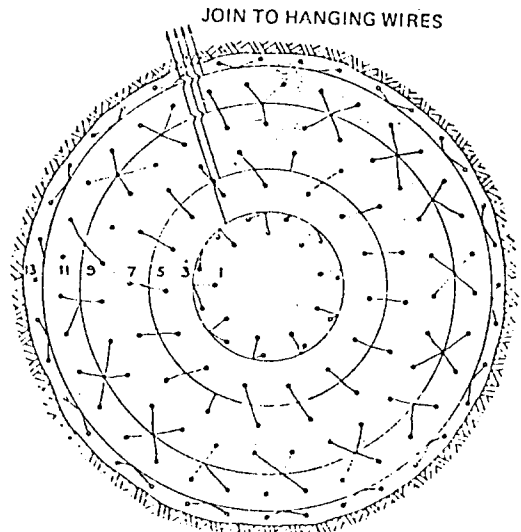


Fig. 16. 병렬발파 결선도.

병렬로 바꾸려면, 동력전원장치를 새로 설치해야 하고, 매번 결선에 Bus-Bar Wire를 써야 하는 등의 번거로움이 있어서 직렬 방식을 그대로 사용했는데 이때 불발을 막기 위해서 Stick을 장약공에 꼽아서 결선 부분을 수면 위로 올리고, 연결 부분에는 Grease를 넣은 Capsule을 씌움으로 문제를 해결하였다.

2.2.5 버럭처리

버럭처리(Mucking 또는 Lashing), 이것은 굴하작업의 능률을 좌우하는 제일 중요한 단위 작업인데,



Fig. 17. Rocker Shovel에 의한 Mucking.

1940년대말부터 기계화작업이 시작되었다. 그 전에는 굴착직경 6 m 이상일 경우 약 20명의 광부(Sinker)가 두줄의 원형 선상에 배치되어 바깥줄에 배치된 인부가 Shovelling 할 때, 그 안의 인원들은 Kibble에 버력을 집어 넣고, 반대로 안의 인원이 Shovelling 하면서

자세를 낮출 때는 밖의 인원이 버력을 투척(投擲)했다.

따라서 그 Rhythm이 지속적으로 유지되어야 하고 매우 숙련은 요하는 작업이다. 그 후 남아공, 구라과에서는 Cactus Grab, 북미지역에서는 Cryderman Shovel이 개발되어 능률이 비약적으로 향상되었다. 그러나 이러한 장비는 전부 Scaffold 밑에 Sling 하여 작동시키므로, Scaffold가 대형화하고, 따라서 시설규모가 커진다. 그런데, 장대(長大)터널을 굴진할 경우, 공기 단축을 위해서 터널 중간에 Shaft를 내려, Shaft 밑에서 작업막장(莫場)을 늘리는 방법이 있는데, 예컨대 일본의 상월 신간선(上越新幹線)의 중산(中山) 터널(전장 14.8 km)의 경우, Shaft를(200~300 m 심도) 3개소 시공하였다. 이런 경우 산간오지에서 Shaft를 내리기 때문에 여러가지 작업조건에 제약을 받는다(電力, 장비인원, 인원확보 등).

이 때는 Rocker Shovel을 이용하면 매우 편리하다. 버력치리에 Rocker Shovel²¹⁾을 도입한 것은 굴하용 시설의 간소화 등의 원인으로 있지만 그 외에도 Grab (또는 Cryder Man Shovel)의 경우 버력이 Shaft 바닥에 얼마 남지 않았을 때 작업능률이 현저히 떨어져 이때는 압기(壓氣)로 버력을 한곳에 모아서 실어야 하기 때문에 작업시간이 길어지는 단점이 있고, 또한 Inset 시공시 수평 굴진에서는 어차피 Rocker Shovel이 투입되기 때문에, 시공비를 절감하기 위해서, 굴하 때부터 사용한 사례가 많다. 처음에는 Rail 위로 이동하는 Rocker Shovel을 사용하였으나, 이 경우 자주 Rail을 이동해야 하는 번거로움이 있어서 그다지 관심을 끌지 못했으나, 그 후 Crawler Type Shovel이 개발되면서 차츰 널리 사용되기 시작했다. 몇 가지 실례를 들면 영국의 Wearmouth 탄광 Shaft의 경우 EIMCO 621형을 사용하고 0.25 m³ Bucket로 1.5 m³ Kibble에 담는데 1분 밖에 걸리지 않았고 전체 적재 능률은 0.4~0.5 m³/min이었다.

미국의 International Salt Co.의 Shaft에서는 굴착 직경 5.5 m의 비좁은 경우에도 사용되었는데 EIMCO 630형을 사용해서 2.3 m³의 Kibble에 실어 담았었고 시간당 22 m³의 능률을 올렸다.

이 예에서도 알 수 있듯이 비교적 직경이 작은 Shaft에서도 사용이 가능하고 이 정도의 능률이면 매우 양호한 편이다. 대형 Shaft에서 용량이 큰 Kibble (3 m³)을 사용했을 때 전체 능률을 50 m³/h에 달한 예도 있다. 그러나 Shaft에서 Rocker Shovel을 사용할

때는 Bucket의 앞부분, Teeth(삽날)을 하향으로 개조하여 버력이 계속 실리도록 하고 또한 Scaffold의 Opening에 맞춰 Rocker Shovel의 폭을 조절해야 하며 Crawler에 Slip 방지용 Rod를 부착하고 Air Hose 연결부분은 상향으로 해야 하는 등, 작업여건에 맞게 개조해야 한다. 또한 공기 압력은 적어도 사용 개소에서 $5.5\sim 6\text{ kg/cm}^2$ 정도 유지가 되어야 하고 수심 70 cm 정도에도 사용할 수 있는 보호장치가 필요하다.

2.2.6 Lining

수갱을 영구적으로 보전(保全)하기 위한 Lining 시공방법은 매우 다양하며 여기에는 그간 수 많은 Shaft를 시공하면서 겪은 난관을 타개해 온 기술자들의 고난의 발자취가 엿보인다. 처음에는 자연적으로 목재지보를 사용했고, 오늘날에도 암반이 견고한 금속광산의 장방형(Rectangular) 수갱에서 지보재(支保材)로 쓰이고 있다.

목재의 특성은 압축, 인장, 굴곡(Bending) 강도가 거의 비슷하고(소나무의 경우¹⁰⁾ 100 kg/cm^2 철제지보에는 찾아볼 수 없는 가축(可縮), 가요(可撓), 가굴(可屈) 등의 인성(韌性)이 커서, 다른 지보재처럼 파괴되면 그 기능을 바로 상실하지 않고, 파괴 변형되면서도 계속 반압이나 지압(指壓)을 지탱하는 매우 유용한 성질을 갖고 있으며, 보수(補修)도 용의하다. 그래서 미국, 캐나다, 인도 등의 심도 1,000 m가 넘는 Shaft 심지어는 남아(南阿)의 2,000 m가²³⁾ 넘는 Deep Shaft에서는 지금도 지보재로 사용되고 있다.

목재지보의 시공방법을 별첨도면에 수록하였다. 앞서 설명한 Fore-Shaft의 시공법 중의 하나인 굴상(掘上, Raising) 때의 지보방법도 이에 준한다. 일반적으로 목재지보는 방부처리(防腐處理)해서 사용하는 데, 반압이 크지 않고 출수가 많지 않으면 길게는 30년 정도 이상 견딜 수 있다.

탄광의 경우는 거의 협탄층(挾炭層: Coal Measure Rock)을 굴하해야 하기 때문에, 원형 Shaft를 시공하게 되고 따라서 Concrete가 보급되기 전에는 벽돌(Brick)을 오랫동안 사용해 오다가 1920년대부터 점차 Concrete 지보로 대체되었으나, 서독의 갱내 Blind Shaft, 구 동구권(Poland 등)에서는 1960년대에도²²⁾ 벽돌을 사용한 예가 있다. 그러나 이 역시 반압이 큰 개소에서는 부적합하다. 벽돌 자체는 $100\sim 200\text{ kg/cm}^2$ 의 강도를 나타내나, 협탄층에서는 일반적으로 균등압이 아니고 편압(偏壓)이 작용하기 때문에 이스

매 부분이 쉽게 파괴, 변형된다. 오늘날 Shaft의 지보재는 Concrete가 주종을 이루고 있으며, 또한 서독, 화란 등지에서는 Caststeel Tubbing, Steel Plate가 널리 사용되고 있다.

Concrete Lining의 각기 상이한 조건하에서의 실례를 살펴 봄으로서, 설계에 참고코저 한다. 정수두(靜水頭)의 경우는 “수갱공사의 기술적 문제(III)”에서 예시(例示)한 것처럼 Selby Recall 제2 Shaft에서, 수압이 60 kg 걸릴 때 1.4 m 두께의 Lining을 시공하였다. 또한 Fig. 12에 압축강도 300 kg/cm^2 , 안전계수 2.5일 때의 두께산정을 위한 Graph를 제시하였다. 암반이 견고한 금속광산의²³⁾ 경우—남아공의 Hartbeestfontein 제 5 Shaft—심도 2,000 m, 내경 8.9 m의 Shaft Lining 두께는 30 cm에 불과한데, 보문(報文) 발표자의 설명에 의하면, 초기지압:

$$\text{수직압 } 2,000\text{ m} \times 2.65\text{ g/cm}^3 = 530\text{ kg/cm}^2$$

수평압 실측결과 수직압의 3/4

$$530 \times 0.75 \cong 400\text{ kg/cm}^2$$

Shaft 주벽에 작용하는 접선방향의 응력은

$$400 \times 2 = 800\text{ kg/cm}^2$$

암반강도는 약 $1,600\text{ kg/cm}^2$ (실내시험치)

따라서 암반은 파괴되지 않기 때문에, Lining은²⁵⁾ 단지 낙석방지를 목적으로 한 것이다.

미국의 Helca Mining의 Silver Shaft(심도 2400 m) 직경 5.5 m의 경우는 수평 초기 지압이 심도 2300 m에서 최대 620 kg/cm^2 , 최소 300 kg/cm^2 이나, 이때도 역시 Lining 두께는 30 cm에 불과하다. 보문에서는 그 이상의 설명이 없으나, 추측컨데 암석강도가 $1500\sim 2000\text{ kg/cm}^2$ 이기 때문에 전단응력에도 견딘다고 해석하는 것 같다.

한편, 탄광의 경우도 Selby Project의 가장 깊은²⁶⁾ Shaft-North Selby(심도 1,000 m)에서 Lining 두께는 30 cm에 불과했는데 이때에도 암반이 비교적 견고한 Sandstone, Hard Shale이어서, 강도가 700 kg/cm^2 정도이며 수갱 주변에 작용하는 접선응력(=약 400 kg/cm^2)보다 커서 암반이 파괴되지 않고 이때도 Lining은 단지 낙석방지용이다.

이상 실례에서 보듯 지금 수평방향의 초기지압을 σ , 암반강도를 u 라고 하면,

$$u \geq (3 \sim 4) \sigma$$

라는 조건에서는 암반은 파괴되지 않고 따라서, Lining에 직접 반압이 작용하지 않는다고^(27,28) 해석하며 이는 다년간의 경험에 의해서도 실증되고 있는 것이다. 장성 제 1 Shaft도 심도 1000 m에서 Lining 두께는 30~40 cm이며, 암반은 석회암으로 구성되어 있고 강도는 1,000 kg/cm² 이상이다. 또한 시공 과정에서, 절리 등의 취약부분에는 Rock Bolt로 보강한다. 그러나 일반적으로 탄광의 Shaft는 비교적 암반이 견고하지 못한 지층내에서 굴하하기 때문에 사전에 면밀한 지질조사, 물성시험을 해야 하며, Lining 설계에 각별히 유의해야 한다. 지금 심도⁽²⁹⁾ 600 m에서 암반의 강도가 200 kg/cm²(실내시험치) 정도라면, 이때 Shaft 주변에 균등압이 걸린다 해도 접선응력은 200 kg/cm²에 달할 것이고 그래서 파괴로 인한 반압이 Lining에 작용될 것이다. 반압의 크기는 주로 내부마찰각에 좌우될 것이나, 10 kg/cm² 정도로 볼 수 있고, 이에 따라 Lining 두께를 산정할 수 있으나, 반드시 편압(偏壓)을 고려해야 한다. 암석 강도가 아주 낮고(100 kg/cm² 이하) 그 두께가 클 때는 암반이 계속 이완되어 소위 팽창성 지층이 될 가능성이 높기 때문에 이때는 가축성지보(2중 Concrete Block 등)⁽³⁰⁾ 해야 한다(Fig. 18). Concrete Lining은 과거에는 일주일 단위의 Cycle 즉 월~목은 굴하, 목~토는 Lining, 일요일 Steel Form 제거, 배수의 방식을 택했으나 이럴 경우 Lining 높이가 15~30 m 이상에 달함으로 가령 목요일 오후 Lining 착수 직전의 Scaffold 높이는 굴하 막장에서 20 m 이상되어 Kibble의 운행시간 때문에 버럭 적체 Cycle이 길어지는 결점이 있고 또한 연약암반 굴하하는 Rock Bolting, Wiremesh 등 가지보(假支保)까지 해야함으로 근래에는 Lining 높이를 4~6 m로 줄이는 소위 Short Step 방식을 택한다.

2.3 수갱 수평분기점(Shaft Inset, Landing Station)

모든 분야가 다 그렇듯이, 이 수갱 작업에 사용되는 기술용어(Technical Term)도 유럽과 북미주간에 차이가 있다. Inset는 유럽, Landing Station은 북미주에서 사용된다. 좀 더 예를 들자면,

- Water Garland(유럽), Water Ring(북미)
- Winder(유럽), Hoist(북미)

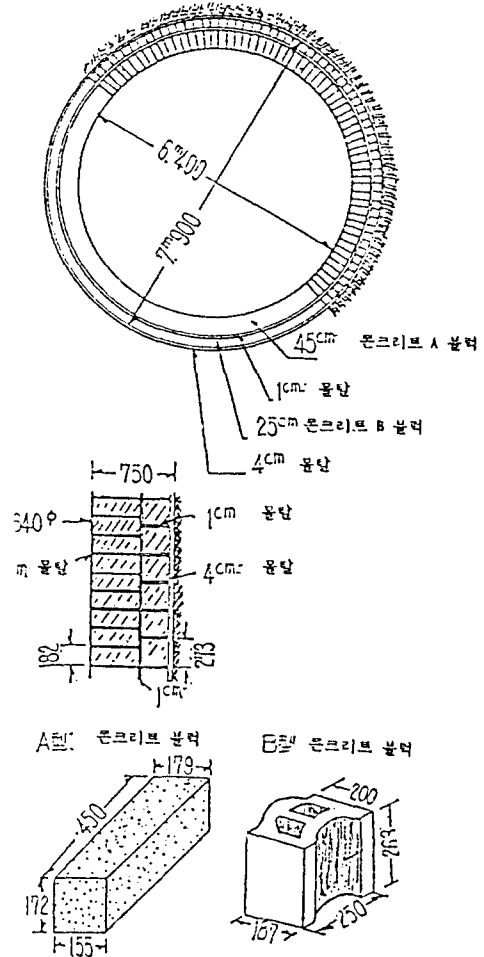


Fig. 18. 2중 콘크리트 블럭 시공도.

- Capstan Winch(유럽), Scaffold Hoist(북미)
- Shuttering(유럽), Steel Form(북미)
- Roadway(유럽), Drift(북미)
- Drift(유럽), Slope(미)

등 매우 다기 다양하다.

이 Inset는 수갱 굴하의 궁극적인 목적을 달성하기 위한 것이다. 즉 Shaft에서부터 수평갱도를 굴진함으로써, 광산의 경우 광체까지 도달하여, 채굴된 광석을 Shaft까지 운반해 나오는 것이며, 지하 저장시설의 경우 저장공동(Cavern)을 굴착하기 위하여 굴진하게 된다.

Shaft와 연접(連接)된 수평갱도는 비교적 대단면이다. 따라서 이 부분에 야기되는 반압현상은 매우 복

잡하고, 중압이 오기 쉽고, 그래서 단면(斷面), 굴착 순서, 지보방법 등은 정확한 지층의 특성과악과 적절한 설계에 의거, 정확한 시공이 요구된다.³¹⁾

2.4 적하시설 부분(Unloading Pocket)과 Sump

채굴된 광석을 광차(Mine Car)에 담아서 Cage에 실어 지상으로 권양할 경우에는 Unloading Pocket가 필요없으나, Skip에 실을 경우에는 별도시설을 해야 한다. 이때는 Inset에서 굴진하는 수평 갱도와는 별도의 갱도에서 광석이 Tipping되어 Conveyer를 통하여 Unloading Bin 또는 Hopper에 들어가는데, 이 일련의 운반 시설을 수용하는 부분을 Unloading Pocket라고 부른다.

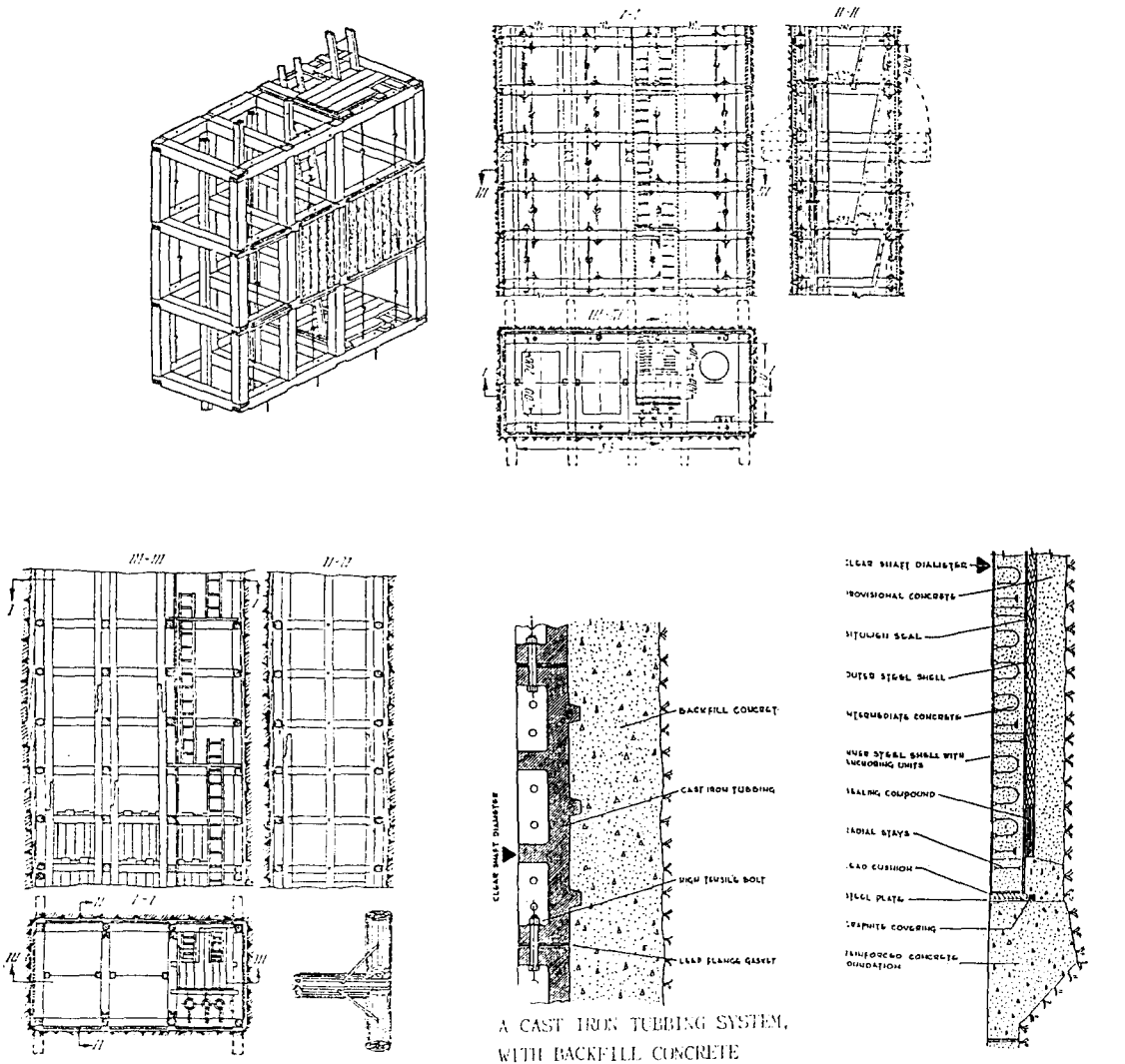
Hopper의 용량은 Skip의 그것과 같게 하며, Hopper 하부에 Load Cell을 설치하여 일정량(Skip의 Pay Load)이 들어오면 운전이 자동 정지토록 한다. Inset 하부 Shaft 바닥까지를 Sump라고 하는데, 여기에는 Cage나 Skip의 Overwinding 방지장치(Tapered Guide, 또는 새로 개발된 Honeycomb Type Guide), Tail Rope의 최하부 보호장치, 그리고 최하부에 Spillage Bunker(Skip에 적체시 흘리는 광석을 받아서 올리는 장치)와 Sump Pump가 설치된다. 또한 장치 Deepening에 대비하기 위한 여유분의 깊이를 확보한다. 따라서 최하부 Inset에서, Shaft Bottom까지는 50~60m의 깊이가 있어야 한다(이하 다음 호에 계속).

참 고 문 헌

- 1) Thomposon, D.M., 1993 July, "The Design and Const. of Mined Cavern for The Storage of LPG at Killing Holme, Humberside", The Min. Engrs.
- 2) 白石多士良, 1937 2, "壓氣工法による掘鑿について", 一鑛誌.
- 3) 三池鑛業所 宮浦鑛, 1953 Feb., "宮浦鑛 初島 立坑工事 概況", 炭鑛技術 Vol. 8, No. 2.
- 4) 坂文雄, 1992 5, "神田川 七號線 發進立坑工事", 土木施工.
- 5) Wild, W.M., 1981 June, "The Application of The Freezing Process to 10 Shafts and 2 Cripts of The Selby Project", The Min. Engrs. No. 4822.
- 6) Alan Hill, F.G.S., 1950, "Calverton Colliery", The Inst. of Min. Engrs. Vol. 110. No. 3326.
- 7) Maishman, D., 1959, "Shaft Sinking Using The Freezing Process", Minutes of Proc. National Assoc. of Coll. Managers. Vol. LVI.
- 8) Wilhelmus, J., Schaeffers, 1959 10, "凍結立坑掘下げに際しての所要冷却能力の計算", Gluckauf (日譯版).
- 9) Fritz Prugger, 1991 June, "Water Problems in Saskatchewan Potash Mining", Cim.
- 10) Kot, F. Unrug, 1984 2, "Shaft Design Criteria", Int. Journal of Min. Enginerg.
- 11) 1960, "The Design of Fan Drift", Ncb Inf. bulletin.
- 12) Suttill, K.R., 1990 Dec., "Deep Mining Challenges", Eng. Min. Journal.
- 13) 會田俊雄, 1961 June, "立坑捲索の安全率", 日鑛誌.
- 14) Satyabodha Lao, A.R., 1976, "Wire Ropes for Winding", Journal of Inst. Engrs Min. Mett. India.
- 15) Dolan, J.T.P., 1939 Oct., "An Investigation into The Permissible Load Carring Capacity of Steel Wire Ropes for Hoisting with Sepcial Peference to Deep Level Winding on The Witwatersrand Gold Field", S. African Inst. of Engrs.
- 16) 水田準一, 1937 9, "立坑捲網の安全率について", 一鑛誌.
- 17) Hitchen, H., 1963, "Ropes for Drum and Koepe Winder", Bull. Canadian Min. Mett.
- 18) 飯田, 1950 Mar. April, "捲網について(其二, 三)", 炭鑛技術.
- 19) Spalding, J., 1949, "Deep Mining", Min. Publication Ltd. London.
- 20) 이응직, 1966, "Ici Winsford 수갱 굴하작업 실습보고서", 石炭 25호.
- 21) Von Dr. Ing. Role Helge Bachstroem "立坑開さくにむける Rocker Shovel", Gluckauf(一譯版).
- 22) 韋드로후, S.A., 外尾善次郎譯, 1959, "立坑開鑿と主要坑道 上卷".
- 23) 小田二三男, 1937 2, "濠洲, 南阿, 伯國 鑛業 視察談", 一鑛誌.
- 24) Henderson, R.W., 1969 4, "Sinking of No.5 Shaft Hartebeesfontein Gold Min. Co. Ltd. with Particular Reference to The Ventilation of The Brattice Wall", Bull. of Inst. of Min. Mett. (Imm).
- 25) Bruce a Mckinstry, 1983 Oct., "Deepest Single Lift Shaft in North Americal Near Completion", Min. Enginrg.
- 26) Bell, J.J., 1982, "The Design of Shaft Linings in coal Measure Rocks", Proc. of Symp. on Strata Mech. New Castle-Upon-Tyne.
- 27) 仲野良紀, 1975 10, "膨脹性地山の實體, トソネルと地下.
- 28) Muirwood, A.M., 1972, "Tunnels for Road and Mo-

torway", The Quarterly Journal of Enginrg. Geology.
 29) 李正仁, "원형수갱의 콘크리트 측벽 두께 산정에 관한 연구", 대한광산학회지 pp. 290-301, Vol. 15.

30) "立坑 特輯號(其一) 奔別立坑 工事記錄", 井華技報 10.
 31) 이응직, 1966, "橢圓型 Inset에 관해서", 石炭(石公社內報) Nr. 26.



A CAST IRON TUBING SYSTEM, WITH BACKFILL CONCRETE

DOUBLE STEEL CYLINDER WATERTIGHT LINING, WITH INNER AND OUTER CONCRETE

Plate. 1. 목재지보와 Tubbing, Steel Shell 복합 지보 시공도.

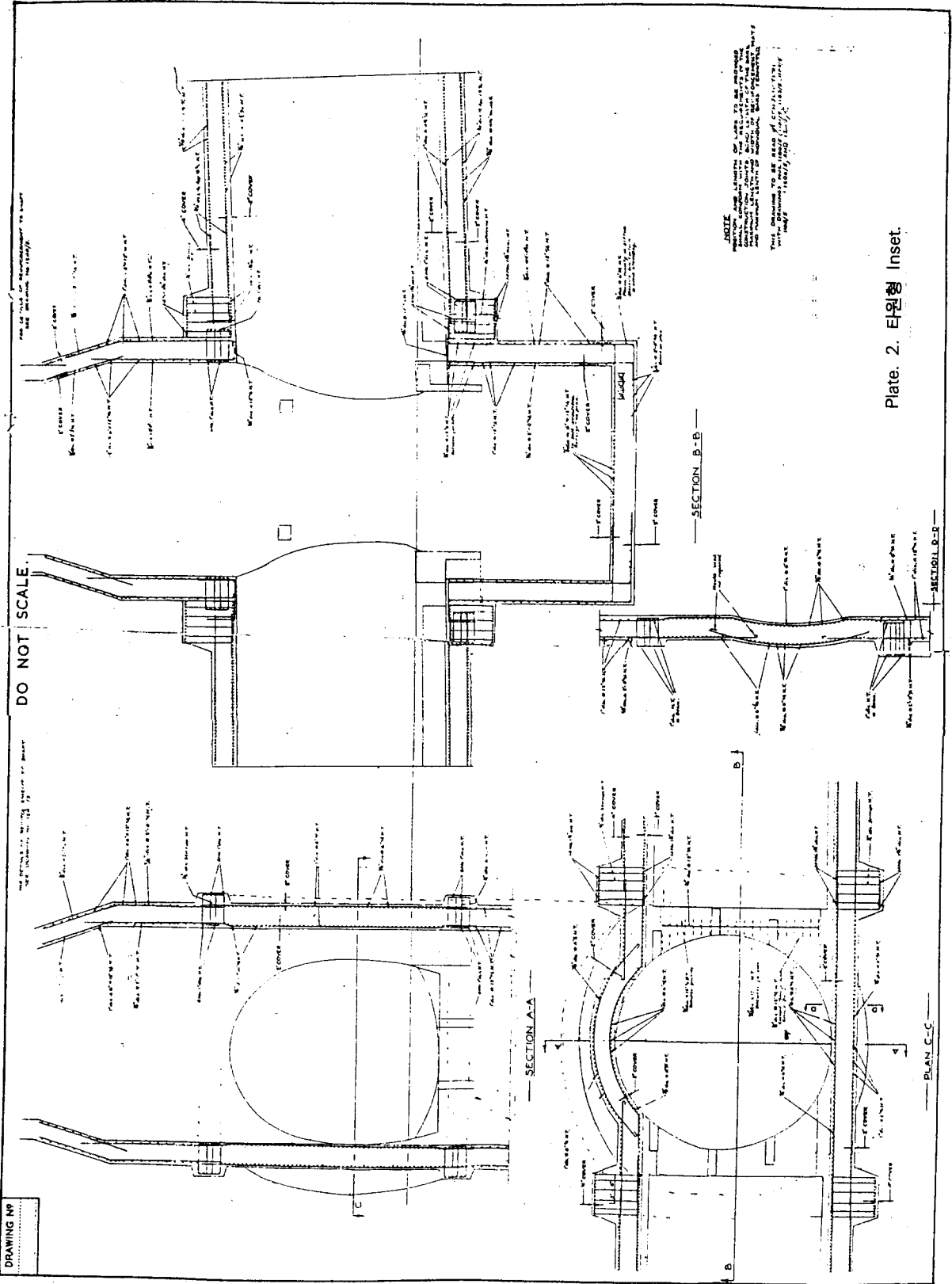


Plate. 2. 타원형 Inset.

DRAWING NO.