

岩盤의 補強工法 (Ⅱ)

金 周 範*

제 3 장 록 볼 트

1. 록볼트의 기능과 요구조건

암반보강에 사용된 록볼트가 어떤 기능을 수행하는지에 대하여서는 명확치 않으나, 대체로 다음과 같은 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다.

- (1) 암피의 지보기능(매다는 작용)
- (2) 암반과의 일체작용 기능(인장볼트)
- (3) 빔(Beam) 형성작용(층상의 암반에서)
- (4) 아치형성작용(인장볼트를 사용하였을 때)
- (5) 암반 보강기능(주입되었을 때)

따라서 록볼트로서의 요구조건도 이러한 기능

을 충분히 수행할 수 있어야 하고, 경제적으로 시공할 수 있어야 한다. 록볼트로서의 일반적인 요구조건은

- (1) 사용강재는 항복강도가 높고 신장량이 커야 한다.
- (2) 정착부의 앵카가 확실할 것
- (3) 시공이 용이할 것
- (4) 내구성 및 내부식성일 것
- (5) 재료의 입수가 용이하고 경제적인 것 등이다.

2. 록볼트의 종류

2.1 Tensioned bolt 와 Untensioned bolt

규격 및 재질

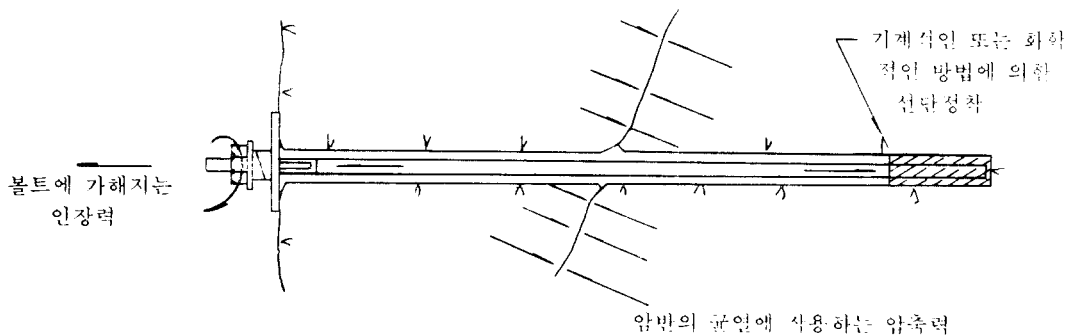


그림 23. 인장볼트

* 正會員, 南元建設엔지니어링 副社長

볼트의 한쪽선단을 기계적인 방법이나 화학제 품의 부착강도를 이용하여 정착하고, 다른 한쪽 선단은 나사와 너트를 사용하여 조임으로써 볼트에 미리 인장을 가하는 볼트를 Tension bolt 라 한다.

볼트의 전 길이에 대하여 그라우팅하여 부착에 의하여 암반을 지지할 때는 볼트에 인장력을 가할 필요가 없으며, 가한다 하더라도 볼트 두부 일부분에만 국한된다. 이러한 볼트를 Untensioned bolt 라 한다.

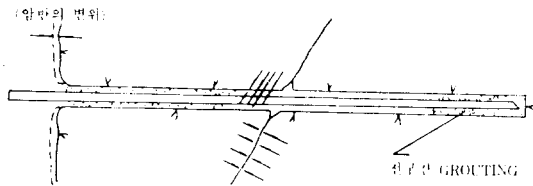


그림 24. Untensioned bolt

Untensioned bolt는 암반에 변위가 생겨야 볼트에 인장력이 작용한다.

통상의 록볼트는 프레스트레스를 가할 수 있는 Tensioned bolt가 이상적이며, 초기에 가하는 인장력은 항복강도의 1/3~2/3 정도가 적합

하다.

왜냐하면 암반에 변위가 생기면 록볼트에도 변위가 생기며, 이 변위에 의하여 록볼트에 생기는 인장력도 커지며 항복강도를 넘어서 신장 범위까지 신장하게 되는데 터널에서 지보공이 받는 압력은 터널의 변위가 커지면 감소하므로 초기에 과도한 인장력을 가하면 이 신장 가능한 범위가 줄어들게 되기 때문이다.

Expansion bolt나 Slotted bolt는 정착부에서의 미끄럼(Slip)이 일어날 수 있으므로 이를 감안하여 초기에 총 항복강도의 2/3를 인장하고 Resin bolt는 완전히 경화하는데 시간이 소요되며, 또 정착부에서의 Slip의 가능성이 적으므로 1/3을 초기에 인장한다.

볼트에 가하는 인장력에 대한 회전 Torque는 나사 및 너트의 형상과 나사표면의 상태에 좌우되므로 현장에서는 Torque wrench에 의하여 수시로 측정을 하여 확인해야 한다.

회전 Torque와 인장력과의 관계식 및 현장에서의 시험결과를 아래 표와 같다.

$$T = K \cdot d \cdot N$$

여기서 T : 회전 Torque (t-cm)

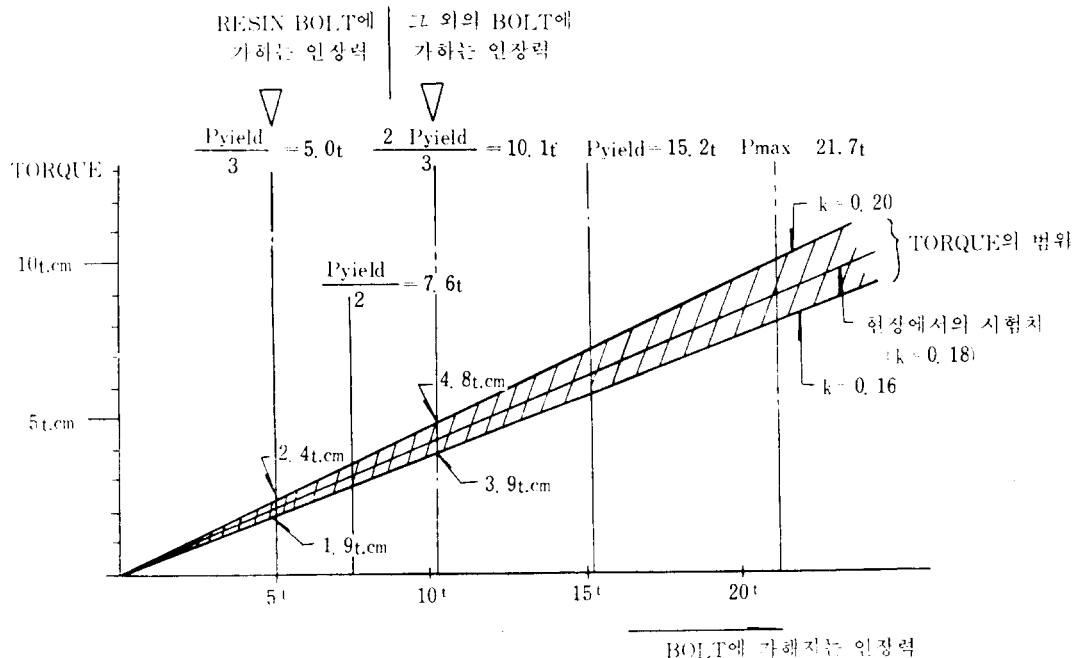


그림 25. 인장력—Torque 관계

K : Torque 계수(0.16~0.20)

d : 볼트의 공칭직경(cm)

N : 도입하고자 하는 축력(ton)

(이론치와 현장에서의 시험치)(Bolt= $\phi 25$, KS 나사와 너트 M 24 시험기구—Torque wrench 와 인발시험기, $K=0.18$)

Torque 의 눈금이 lb·ft 나 N·m 로 되어 있을 때는 다음과 같이 환산하여야 한다.

$$\begin{aligned} 1 \text{ t}\cdot\text{cm} &= 98 \text{ N}\cdot\text{m} \\ &= 72 \text{ lb}\cdot\text{ft} \\ &= 10 \text{ kg}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

2.2 Grouted bolt 와 Ungrouted bolt

전길이에 시멘트 페이스트나 몰탈 등이 주입되어 부착력으로 지지하는 볼트가 Grouted bolt 이며, 기타의 방법으로 볼트의 선단이 정착되어 인장이 가해지며 전 길이에 주입되지 않은 볼트는 Ungrouted bolt 이다.

영구적으로 안전해야 하는 터널에 사용되는 볼트는 부식방지를 위하여 반드시 주입되어야 한다. 즉 주입은 2 가지 목적으로 사용된다.

(1) 볼트와 암을 부착시켜 일체 구조로 한다. 이것은 개개의 암반을 서로 맞물리게(Interlocking) 하여 암질을 현저하게 개선하는데 기여한다.

(2) 볼트의 부식을 방지한다.

2.3 록볼트의 종류

볼트의 종류는 볼트의 재질, 정착방법, 주입 방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 볼트의 재질

① 강재볼트—원형봉강, 이형봉강, PC 강재케이블 등이 사용

② 목재볼트—광산 등에서 일시 보강용으로 사용

③ 플라스틱볼트—굴착막장의 보강으로 사용

(2) 정착방법

① 기계적 정착—Slotted bolt, Expansion bolt

② 접착제에 의한 정착—Resin bolt

(3) 주입방법

① 유공반쪽 튜브를 사용하는 방법—Perpo bolt

② 주입펌프를 이용하는 방법—Slack bolt

③ 시멘트 Cartridge 를 이용하는 방법

이외에도 볼트의 종류는 많으나, 대표적인 아래의 4 가지 형태에 대한 시공법을 검토하여 보기로 한다.

(1) Slotted bolt—뿔기를 사용하여 정착시키고 인장력을 가하는 형

(2) Resin bolt—화학접착제를 사용하여 정착시키고 인장력을 가하는 형

(3) Expansion bolt—Expansion shell 을 사용하여 볼트의 선단을 확장시켜 정착한 후 인장력을 가하는 형

(4) Slack bolt—주입펌프를 이용하여 볼트 전길이에 시멘트 페이스트를 주입함으로써 부착에 의하여 암반을 지지하고 인장력을 가하지 않는 형

3. 록 볼트의 시공법

3.1 Slotted bolt

<시공>

(1) 천공 : Leg drill, Bolting jumbo 등의 회전충격식 천공기계에 의하여 천공한다.

천공구경 : 38 m/m

천공길이 : 볼트길이—10 cm

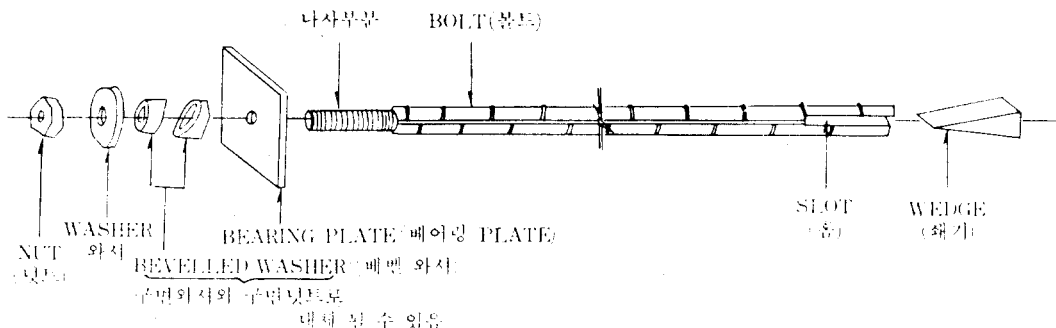


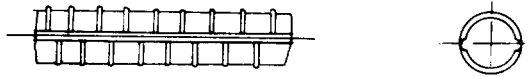
그림 26. Slotted bolt 의 구성

규격 및 재질

품명	형상 · 규격 · 재질
----	--------------

Bolt

규격



구경	단위 중량 kg/m	공직 칭경 (d) m/m	공단 면적 (s) cm ²	공주 칭장 (l) cm	마디간격의 평균최대치 m/m	마디높이의 평균최소치 m/m	양쪽 리브 의 최 대 치 m/m
D 25	3.98	25.4	5.067	8.0	17.8	1.3	20

길이 : 현장 조건에 따라 결정(제 4장 5 참조, 보통 3m~6m)

재질 : (KSD 3504 철근콘크리트용 봉강의 4종 SBD 40 또는 동등 이상)

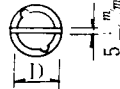
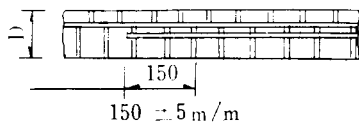
종류	기호	기계적 성질 실험					
		인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	시험편	연산율 (%)	굴곡강도 (°)	안쪽지름
철근 4종	SBD 40	57 이상	40 이상	2호	16 이상	180°	4배
				3호	18 이상		5배

화 학 성 분 (%)

C	Mn	P	S	C + $\frac{Mn}{6}$
0.29 이하	1.80 이하	0.050 이하	0.050 이하	0.55 이하

Slot 부분

규격 및 형상

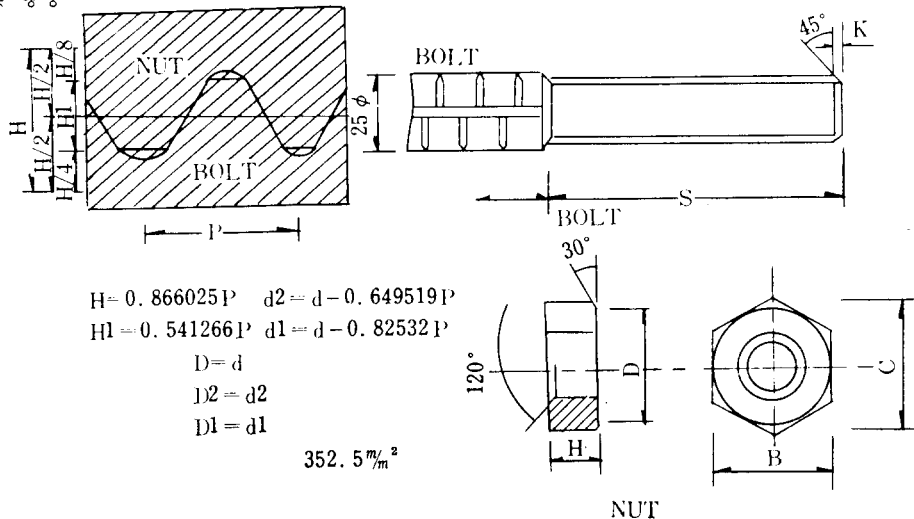


D는 볼트구경

제작 : 산소 절단기 또는 기계에 의하여
제작

나사부분
및
너트

규격 및 형상



품 명	형 상 · 규 격 · 재 질
-----	-----------------

나사부분
및
너트

호 칭 d	나사부분(KSB 0201, 이터보통나사) Bolt 부분						
	외 경 D	유효경 D ₂	내 경 D ₁	피 치 P	나 사 부 분 이 높 H ₁	나 사 부 분 이 길 S	말 출 단 부 K(약)
M 24	24.000	22.051	20.752	3	1.624	150+5 m/m	3

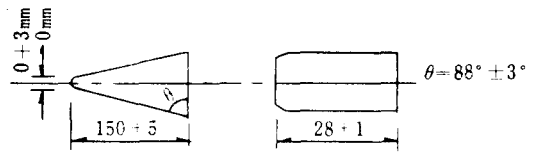
너트부분(KSB 1012 6 작 너트)

머리의 높이 (H)	대변길이 B	대변 각 길이 C	D(약)
19	36	41.6	34

표면의 마무리 — 나사부분을 제외한 전면, 후면

쇄 기

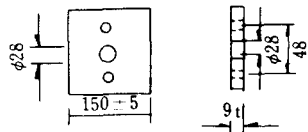
규격 및 형상



재질 : KSD 3503 일반 구조용 압연강재

Bearing
plate

규격 및 형상

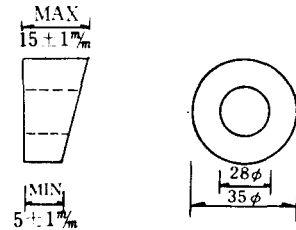


주입하지 않을 경우 6t로 할 수 있음.

재질 (KSD 3503, 일반 구조용 압연 강재의 SB 41)

Bevelled
washer

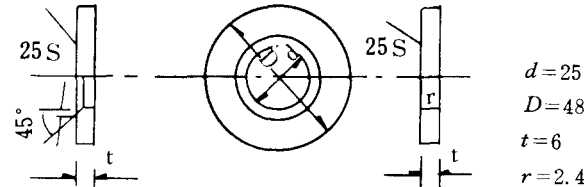
규격 및 형상



재질 : KSD 3503 일반 구조용 압연강재

평 와 셔

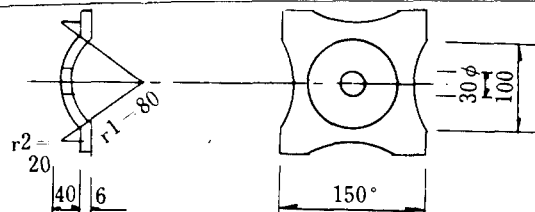
규격 및 형상



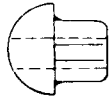
재질 : KSB 1326, 평와셔에 따른다.

반 구 면
와 셔

(Bearing plate와 Bevelled washer 대신
반구면 Washer와 구면 너트를 사용할
경우)
규격 및 형상



재질 : KSD 3503 일반구조용 압연 강재를 가공하여 제작



재질 : (KSB 1035 지그용 6 각 너트)

천공이 끝나면 공내의 압편과 불순물을 물과 공기로 불어낸다.

(2) 볼트 가조립 및 삽입 : 볼트의 Slot 에 Wedge 를 빠지지 않을 정도로 끼우고 볼트가 공저(孔底)에 닿을 때까지 넣는다.

(3) Hammering

Wedge 가 Slot 를 확장시키도록 망치로 막는다(이때 Leg drill 의 충격력을 이용하여 박을 수도 있음).

(4) 긴장 : Bearing plate, Bevelled washer(2 개) 및 Washer 를 볼트두부에 끼우고 너트를 조여서 긴장(회전 Torque 3.9~4.8 t·cm)한다. 인장을 가하기 위하여는 Center hall jack, Torque wrench 를 사용할 수 있으며 압축공기를 이용한 Impact wrench, 뉴매틱 렌치(Pneumatic wrench) 등을 사용할 수 있으나 수시로 Torque wrench 에 의하여 인장력을 확인해야 한다.

(5) 재조이기 및 주입

막장에 가깝게 설치된 록볼트는 발파의 영향으로 인한 Slip 으로 이완되는 수가 있으므로 확인하여 재조이기를 실시한다. 영구적으로 안정해야 하는 터널에 설치되는 록볼트는 부식방지를 위하여 주입되어야 하는데 주입방법은 다음과 같다.

<주입방법>

(1) 하향일 때—공저에서부터 주입

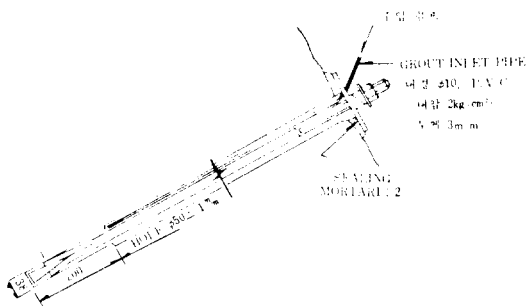


그림 27. 주입방법(하향일 때)

(2) 수평 또는 상향일 때—공입구에서부터 주입

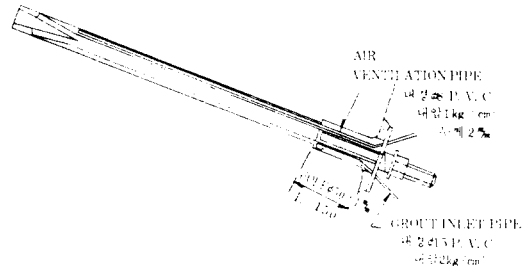


그림 28. 주입방법

(3) 주입재료의 배합비 및 주입펌프 Slack bolt 에서 기설명

(4) 튜브가 시공 중 손상되는 수가 있으므로 주입 이전에 압력수를 넣어서 확인해야 하며, 손상되었을 경우에는 교체해야 한다.

(5) Air ventilation pipe 를 사용하는 대신 볼트의 중심에 구멍이 뚫린 록볼트를 사용하는 방법도 있으나, 기성제품이 없고 제작단가가 비싸므로 이를 고려하여야 한다.

(6) 두부의 보호

영구적으로 안정을 유지해야 하는 터널에 설치되는 볼트의 두부와 판, 너트 등은 부식방지를 위하여 에폭시페인트나 숏크리트로 피복하여 보호하여야 한다.

<볼트의 강도>

Slotted bolt 의 강도는 정착부의 암질에 따라 좌우되나 경암에서 완전하게 정착되었을 때는 나사부분에서 파괴가 일어나며 강도는 아래와 같다. (예)

$$(1) \text{파단강도} : P_{\max} = \sigma \cdot A$$

$$= 57 \text{ kg/mm}^2 \times 381.9 \text{ mm}^2$$

$$= 21.7 \text{ ton}$$

$$(2) \text{항복점강도} : P_{\text{yield}} = \sigma_y \cdot A = 40 \times 381.9 \text{ mm}^2$$

$$= 15.2 \text{ ton}$$

$$(3) \text{안전강도} : \text{주입되었을 때}$$

$$P_a = P_{\max} / 1.5 = 14.4 \text{ ton}$$

주입되지 않았을 때
 $P_a = P_{max}/2 = 10.8 \text{ ton}$

<특징>

(1) 배경

Slotted bolt는 기계적으로 정착되는 최초의 볼트로서 개발되었다. 제작이 매우 간단하고 염가이므로 세계적으로 널리 사용되었다. 볼트는 끝에 긴 홈이 있어 공저로 밀어 넣으면 여기에 썩기가 박혀 볼트끝을 벌리게 함으로서 암반과 밀착되어 고정된다.

(2) 장 점

- ① 간단하고 염가이다.
- ② 강한 암반에서는 훌륭한 정착력을 발휘하여 볼트에 즉시 인장력을 줄 수 있다.

(3) 단 점

- ① 시공상 썩기의 탈락 등으로 작업에 능률성과 확실성을 기하기 어렵다.
- ② 암반과 벌어지는 부분의 접촉부분이 적으므로 암의 강도가 약 100 kg/cm^2 이하인 곳에서는 암반의 극부적인 파쇄에 따라 미끄러질 우려가 있다.

(4) 이용도

경암지대의 소단면 굴착, 광산 등에서 사용되었으나, 정착의 불확실성(특히 연암에서) 때문에 Slotted bolt는 더 사용하기 좋은 Expansion bolt로 대체되어 현재는 드물게 사용된다.

3.2 Resin bolt

<구 성>

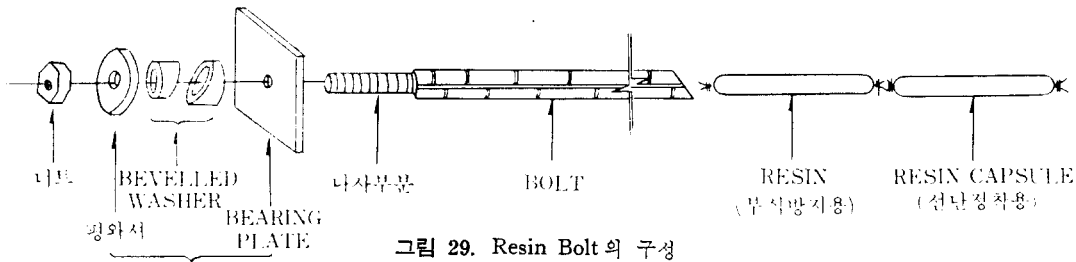
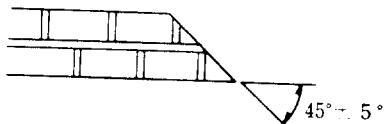


그림 29. Resin Bolt의 구성

규격 및 재질

품 명	형 상 · 규 격 및 재 질
Bolt	형 상 } 규 격 } Slotted bolt와 같음. 재 질 } 길이 : 현장 조건에 따라 결정(보통 3m~6m)해야 하나, Bolting jumbo에 의하여 기계화 시공을 할 경우는 기계의 사양에 맞추어야 함(2.9m~3m)
나 사 부 분 및 너 트	Slotted bolt와 동일
Bearing plate	Slotted bolt와 동일
Bevelled washer	Slotted bolt와 동일
평 와 셔	Slotted bolt와 동일
반 구 면 와 셔 및 구 면 너 트	Slotted bolt와 동일
볼트의 선 단	규격 및 형상  볼트의 선단은 Resin의 교반효과를 높이기 위하여 그림과 같이 절단한다.

Resin

Resin은 합성수지로 된 주체와 경화제를 담은 경화제가 분리되어 Capsule에 보관되어 있으며, 이것이 록 볼트 공내에 들어가서 혼합되면 경화되어 강도를 발휘하는 접착제이다.

이것은 제조회사에 따라 배합비가 다르므로 강도나 경화특성에도 차이가 있으며, 판매되는 포장도 각각 다르다.

Resin은 { 보통형—(경화시에 용적의 증가가 없고 강도가 큼)
 팽창형—(경화시의 발포작용에 의하여 용적이 팽창하며 단가가 저렴하게 되나, 강도가 다소 떨어짐)

{ 급속 경화형—(수분 이내에 경화되므로 초기에 정착하여 볼트를 인장하기 위하여 선단 정착에 사용)

{ 완속 경화형—(경화시간이 수시간 소요되므로 볼트의 부식방지를 위하여 사용)

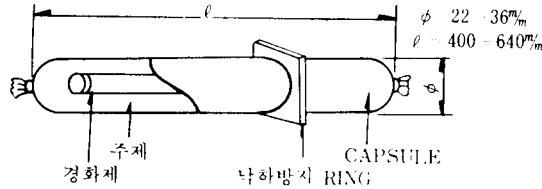
으로 나눌 수 있으며, 시공자는 사용코자 하는 Resin의 시험성적서를 제출하고 현장의 시험에 의하여 강도를 확인받은 후 사용해야 한다.

일반적으로 Resin의 요구조건은 아래와 같다.

- (ㄱ) 압축강도, 인장강도 및 부착강도(볼트 및 압과의 부착강도)가 클 것.
- (ㄴ) 장기 강도가 현저하게 떨어지지 않을 것.
- (ㄷ) 선단 정착용은 경화시간이 짧을 것. (3분 이내에 긴장할 수 있도록 총강도의 50% 이상에 도달할 수 있을 것.)
- (ㄹ) 부식 방지용으로 팽창형을 사용할 때는 팽창비율이 규정치보다 적지 않을 것.
- (ㄴ) 기계에 의한 공내 주입이 가능할 것. (압축공기로 넣어질 때 포장의 파손이 없을 것)
- (ㄷ) 보관은 가능한 기간이 길 것.

생산회사에서 제시한 Catalog에 의한 재료의 규격, 재질 및 특성은 아래와 같다.

(1) 규 격



* 압축공기에 의하여 주입되기 위하여는 포장이 딱딱해서는 안되며 길이도 너무 길지 않는 것이 좋다. (ℓ=400m/m 내외)

(2) 성 분

주 제 : Polyetherpolyol 과 Polyester 계수지

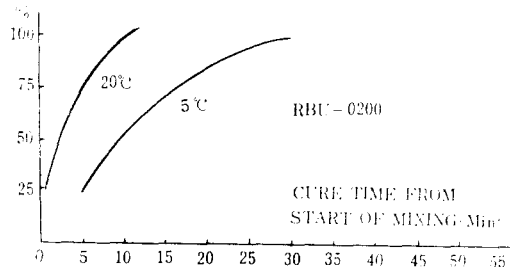
경화제 : : Methylene-Di-Isocyanate 와 Benzoylperoxide

(3) 화학적 성질 및 물리적 성질

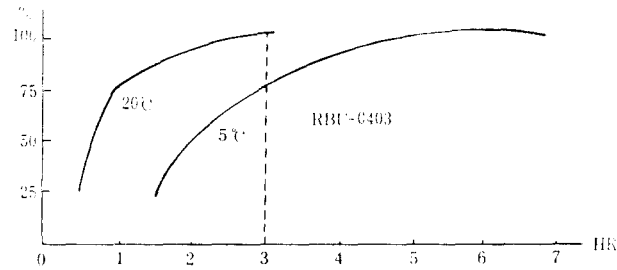
구 분	Tokai Rubber Industries 제품		Construction Fastener 제품	
	주 제	경 화 제	CS 350	CS 550
점 도(20°C에서)	약 100,000 cps	약 100,000 cps		
비 중	1.35	1.20		1.77
혼 합 비	100	100		
초 결 시 간		1 분		
팽 창 비 율		2 배		
밀 도		0.6 g/cm ³		
일축 압축 강도		350 kg/cm ²	552 kg/cm ²	1,200 kg/cm ²
인 장 강 도		130 kg/cm ²	88.7 kg/cm ²	200 kg/cm ²
전 단 강 도			154 kg/cm ²	346 kg/cm ²
부착강도(화강암)		30 kg/cm ²		

품명	형상 · 규격 및 재질		
Resin	부착 강도(철)	90 kg/cm ²	
	탄성 계수		38,600 kg/cm ² 129,400 kg/cm ²
	인화점	220°C	
	저장 기간	상온에서 6개월	

(4) 경화시간과 강도의 증가

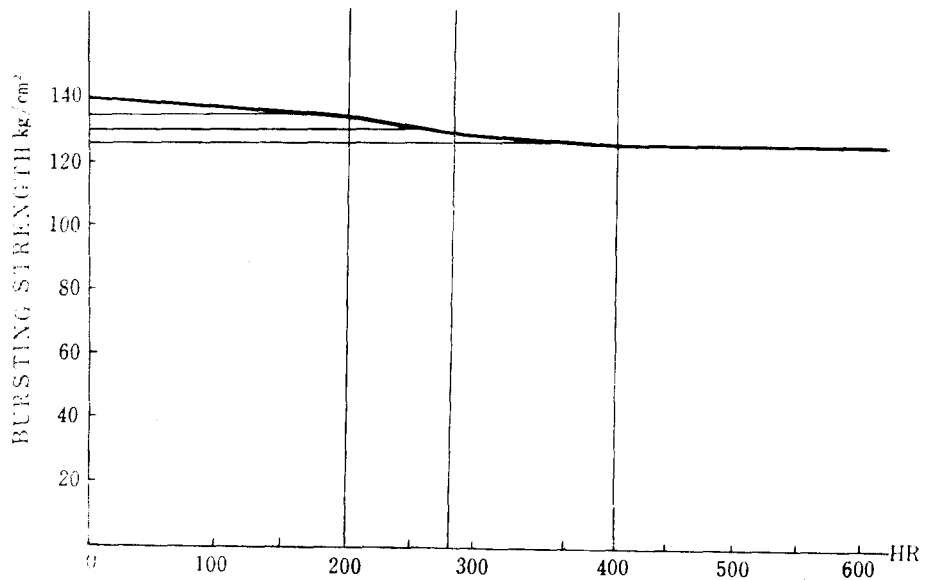


▶ 급속경화형

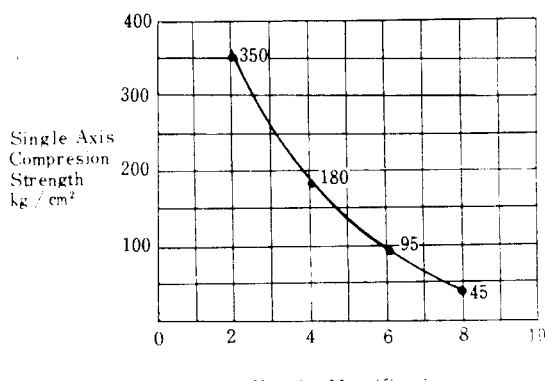


▶ 완속경화형

(5) 장기강도의 변화(Tokai rubber industries의 Catalog에 의함)



(장기강도의 변화)

품 명	형 상 · 규 격 및 재 질										
Resin	<p>실험은 상대습도 95%, 온도 70°C에서 행하여졌으며 "Arrhenius" 공식에 의하여 이 상태에서의 200일 경과는 상온에서 (25°C 상대습도 50%), 6400일(17.5년) 경과된 것과 같다.</p> <p>(6) 팽창비율과 강도(Tokai rubber industries의 Catalog)</p>  <table border="1" data-bbox="498 380 1043 761"> <caption>Data from Tokai rubber industries Catalog</caption> <thead> <tr> <th>Foaming Magnification</th> <th>Single Axis Compression Strength (kg/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>45</td> </tr> </tbody> </table>	Foaming Magnification	Single Axis Compression Strength (kg/cm²)	2	350	4	180	6	95	8	45
Foaming Magnification	Single Axis Compression Strength (kg/cm²)										
2	350										
4	180										
6	95										
8	45										

<시공법>

Resin 볼트의 시공은 전 과정을 록볼타(Rock bolter)에 의하여 자동 시공하는 것으로 하였으며 수동으로 하는 경우도 과정은 동일하다.

Rock bolter에 대하여(Alimak, Tam Rook 등)

<구 성>

운반장비

BooM

Bolting unit

- (1) 천공—Drifter(Jumbo drill의 천공속도와 같음)
- (2) Resin의 충전—Feeder
- (3) Bolt의 장진—Cassette(5개~8개 장진)
- (4) Resin의 교반 및 볼트인장—회전모타(0~30 kg·m)
- (5) 동력장치—수압 80~150 Bar 발생
- (6) 기타 부대장비

<기 능>

적용볼트

- (1) Resin 볼트—전과정 자동
 - (2) 시멘트 그라우트 볼트
 - (3) Expansion shell 볼트
 - (4) Slotted 볼트
- 볼트의 길이—3 m 까지

작업범위—90°~+90°, 터널의 크기 8.5 m × 8.5 m 까지

소비전력—30~40 KW

<시공순서>

- (1) 위치선정
- (2) 천공 : 구경 38 mm, l =(볼트길이 -10 cm) Bolter, 또는 Jumbo drill, Leg drill
- (3) 압축공기에 의하여 Resin을 필요한 수만큼 공저로 쏘아 넣음. 수동으로 할 때는 PVC 막대로 밀어 넣음. 예로, 선단정착용 $\phi 22$ mm, $l=380$ mm 2개, 부식방지용 5개(2배 팽창형)
- (4) 볼트를 반시계방향으로 회전시킴으로써 Resin을 교반함(30 초~1 분간)
- (5) 경화(3 분간)
- (6) 너트의 체결(Torque 1.9~2.4 t·cm)
- (7) 재조이기 및 볼트의 두부보호

볼트의 정착부가 안전하기 위하여서는 볼트의 강도보다는 큰 부착강도를 가져야 하며 최소 정착 길이는

$$l = \frac{n \cdot P_{max}}{C \cdot \pi \cdot D}$$

여기서

P_{max} : 적작력, n : 안전율 (2)

C : 부착강도(Resin—화강암 140 kg/cm²,
철 118 kg/cm²)

D : 부착구경(일반관공 3.8 cm, 볼트 2.5 cm)

<특징>

(1) 배 경

Resin 볼트는 최근에 사용되는 가장 발달된 볼트로서 주입볼트와 인장볼트들의 장점을 각각 가지고 있다. Resin 은 합성수지로 된 주재와 경화촉진제가 각각 분리되어 하나의 봉지 속에 들어 있다. 이것이 공내에 넣어져서 볼트에 의하여 봉지가 터지고 볼트회전으로 교반되면서 주재와 경화촉진제가 혼합되어 경화된다. 급속경화형은 수분내에 볼트를 인장할 수 있도록 경화한다.

(2) 장 점

- ① 사용이 간단하고 편리하다.
- ② 빈약한 암반에서도 고강도의 정착이 가능

하다.

③ 수중에서나 용수가 있는 암반에서도 사용이 가능하다.

④ 경화시간의 조절이 가능하며, 짧은 경화시간을 가진 Resin 을 사용하면 전공정의 기계화 시공이 가능하므로 경내 작업의 안정성과 능률을 개선할 수 있다.

(3) 단 점

- ① Resin 이 고가이다.
- ② 저장기간이 짧다(6개월).

(4) 이용도

공사비에 비하여 시공속도와 확실성이 더 중요한 개소의 사용이 점차 증가하고 있다.

3.3 Expansion bolt

<구성>

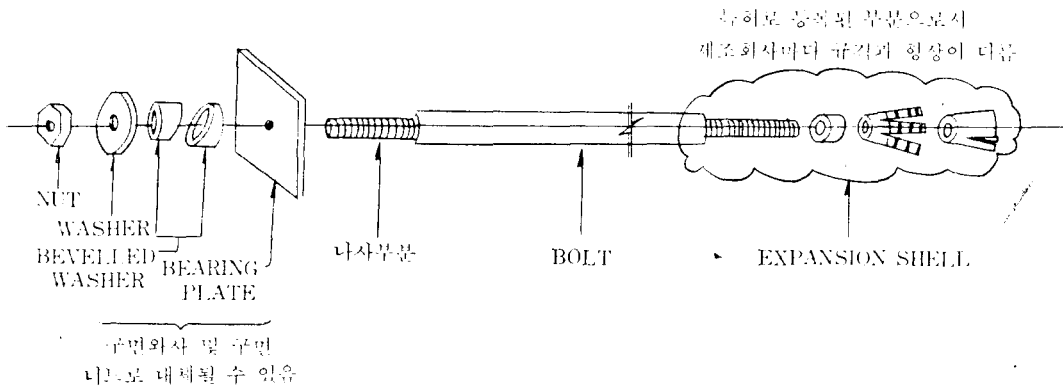


그림 31. Expansion bolt 의 구성

규격 및 재질

명 칭	형 상 · 규 격 및 재 질										
Bolt	<p>Slotted bolt 와 같은 이형봉강을 사용하거나 원형봉강(KSD 3503, 일반 구조용 압연강재, 4종 SB 55 또는 동등 이상의 재료)을 사용한다.</p> <p>원형봉강을 사용할 때의 형상, 규격 및 재질은 아래와 같다.</p> <p style="text-align: center;">형상</p> <div style="text-align: center;"> <p>규격</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>구</th> <th>경</th> <th>단 위 중 량 (kg/m)</th> <th>단 면 적 (mm²)</th> <th>주 장 C(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>φ25</td> <td>3.85</td> <td>4.909</td> <td>7.854</td> </tr> </tbody> </table>	구	경	단 위 중 량 (kg/m)	단 면 적 (mm ²)	주 장 C(m)		φ25	3.85	4.909	7.854
구	경	단 위 중 량 (kg/m)	단 면 적 (mm ²)	주 장 C(m)							
	φ25	3.85	4.909	7.854							

명 칭	형 상 · 규 격 및 재 질					
Bolt	재 질					
	화 학 성 분 (%)					
	C	Mn	P	S	항 복 접	인 장 강 도
	0.30 이하	1.60 이하	0.040 이하	0.040 이하	40 이상	55 이상
	신 장 시 험			굴 목 시 험		
	시 험 편	신 장 륜 (%)	시 험 편	굴 목 각 도	내 측 반 경	
2 호	13 이상	2 호	180°	2φ		
두부의 나사부 분 및 너트	Slotted bolt 와 같음					
Bearing plate	Slotted bolt 와 같음					
Bevelled washer	Slotted bolt 와 같음					
평 와셔	Slotted bolt 와 같음					
반구면 와셔 및 구면 너트	Slotted bolt 와 같음					
Expansion shell	Expansion shell 은 제조회사에 따라 정착방법과 형식에 차이가 있으며 Expansion shell 은 천공구경과 균형을 이루므로서 너트를 체결 때 Shell이 확장되어 선단이 정착되어야 한다. Expansion bolt 는 크게 Bail type 과 Shell type 이 있다.					
Expansion Shell	<p>(BAIL TYPE)</p> <p>(EXPANSION SHELL TYPE)</p>					

NONE SCALE

<시공법>

(1) 천 공

Slotted bolt 와 같음.

$\phi=40$ mm, $l=(\text{볼트길이}-10$ cm)

(2) 볼트가조립

볼트에 Expansion shell 을 조립한다.

(3) 볼트삽입

(4) 정착 및 긴장

볼트를 회전하여 정착이 되면 너트를 조여 Shell 을 확장하고 볼트에 인장력을 가한다. 이때 가하는 Torque 를 3.9~4.8 t·cm 가하면 볼트에는 항복강도의 2/3 만큼 인장력(10.1 ton)이 가해진다.

(5) 재조이기 및 주입은 Slotted 볼트와 같음.

(6) 볼트의 두부보호는 Slotted 볼트와 같음.

볼트는 정착부의 강도가 충분하면 나사부분에서 파괴가 일어난다.

<특징>

(1) 배 경

Expansion 볼트는 기계적으로 정착되는 볼트로서 Slotted bolt 보다 더 확실하고 안전한 정착을 기하기 위하여 개발되었다. 이 볼트에는 종류가 많으나, 볼트끝에 붙어 있는 콘(Cone)형의 쉘이 원추형의 Shell 속에 들어가 Shell 을 공벽(孔壁)쪽으로 확장시켜 압착에 의하여 지지하는 기본원리는 동일하다.

(2) 장 점

① 설치 즉시 인장할 수 있고 주입은 암반의 초기변화가 일어난 다음 할 수 있다.

② 양질의 암반에서는 좋은 정착을 얻을 수 있다.

③ 출수의 영향을 받지 않는다.

(3) 단 점

① 단가가 비교적 고가이다.

② 정확한 설치를 위하여는 숙련된 기능공과 부단한 감독이 요구된다.

③ 발파에 의한 영향을 받기 쉽다.

④ 극경암에서나 연암에서는 효과가 적다.

(4) 이용도

토목공사의 영구 보강용으로 널리 사용되었으며 주입되지 않은 볼트는 광산에서 널리 사용되었다.

3.4 Slack bolt

Slack 볼트는 전길이에 주입이 되어 부착강도로서 지지하는 형의 일종이다. 주입재료는

(1) 시멘트몰탈

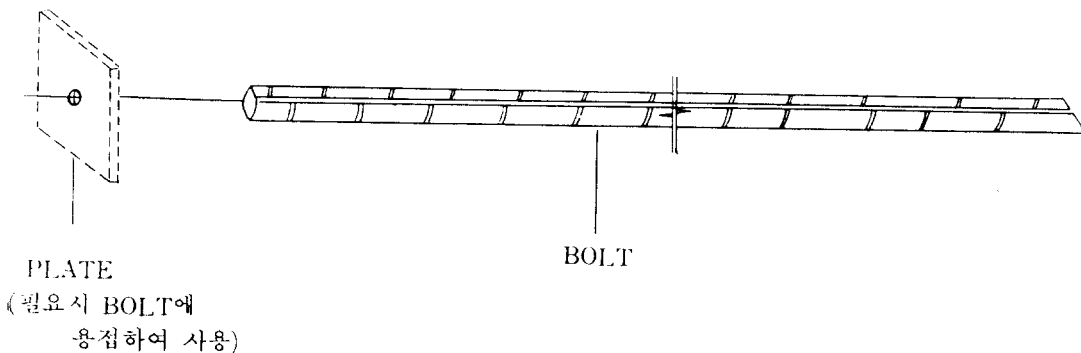


그림 32. Slack bolt

(2) 시멘트 페이스트(Paste)

(3) Resin 등이 있으며

주입방법으로는

(1) Cartridge 를 이용하는 방법

(2) 펌프를 이용하는 방법

(3) 압축용기와 압축공기를 이용하는 방법

(4) 두 개의 반쪽튜브를 이용하는 방법

규격 및 재질

명 칭	형 상 · 규 격 및 재 질
Bolt	Slotted bolt 와 같음.
Plate	Slotted bolt 의 Bearing plate 와 같음.

<시공법>

○ Cement cartridge 를 이용하는 방법

(1) 천 공

Slotted bolt 와 같음.

$$\phi=45\text{mm}, l=(\text{볼트길이}-10\text{cm})$$

(2) Cartridge 침수

Cartridge 를 방수포장에서 꺼내어 물에 침수시킨다(약 4~5 분간).

(3) Cartridge 삽입

Cartridge 를 필요한 숫자만큼 조심스럽게 공내에 밀어넣고 약간 다진다.

(4) 볼트삽입

볼트를 인력이나 Leg drill 을 사용하여 삽입한다.

(5) 양 생

* Cement cartridge 에 대하여

규격 및 형상

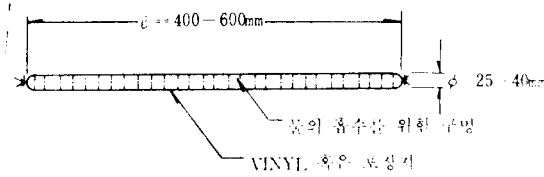


그림 33. Cement cartridge

- ① 구경과 길이 및 용량은 주문에 따라 변경될 수 있음.
- ② 조강형(1시간 경과 후 압축강도 200 kg/cm²)과 완결형(1일 경과 후 압축강도 100 kg/cm²)이 있음.

내용물 : 시멘트+혼화제(분산제·급결제)

5분간 칩수시켰을 때의 물시멘트비 : 30~45%
 압축강도(Fosroc con bextra capsule catalogue에 의함)

조 강 형		완 결 형	
경화시간	압축강도 (kg/cm ²)	경화시간	압축강도 (kg/cm ²)
1시간	205	24시간	110
6시간	255	7일	400
24시간	305	14일	480
28일	410	28일	550

보관기간 : 6개월~1년(방습포장지에서 분리되지 않았을 때)

○펌프를 이용하는 방법

(1) 천 공

φ45 mm, l=(볼트길이-10 cm)

(2) 시멘트 주입

혼합된 시멘트 페이스트를 Monopump 나 Rotary pump에 의하여 공내로 주입한다. 이때 공내에서의 주입압력이 1.7 kg/cm²이 넘지 않도록 해야 한다.

시멘트의 혼합비(m³ 당)

재	료	수 량	비 고
시멘트(보통)		1,620 kg	상항작업시는 사용불가
물(W/C=30%)		486 l	
혼화제(무수축제)		8.1 kg	
분산제(Fly Ash, 필요시)		648 kg	

※ 혼화제와 분산제의 혼합비율은 제조회사의 사양에 의하여야 한다.

(3) 볼트삽입

볼트를 인력이나 Leg drill 또는 써비스트릭의 부상력을 이용하여 공저로 밀어 넣는다.

(4) 양 생

경화속도가 느리므로 48시간이 경과하여야 볼트에 인장을 가할 수 있을 정도로 양생된다.

펌프의 사양(예)

품 명	최대속도에서의 공칭능력(m ³ /h)	최대속도 (REV/min)	공 칭 공 경 (mm)	최대토출압력 (BAR)	Motor의 동력 (KW)	최소시동토크 (kg/m)
MH 40	6.1	1,450	40	4.5	1.1	1.0

Paste 혼합을 위하여는 별도의 Mixer가 필요하다.

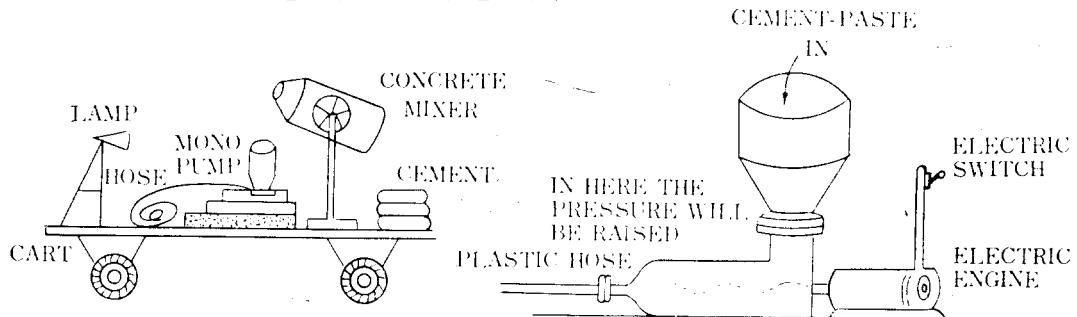


그림 34. Monopump 와 Mixer

Pump 및 Mixer 의 능력

Mixer			Pump		
동 력	회 전 수	용 량	동 력	수 송 능 력	Hopper 의 용량
1.5 KW	40 회/분	100	2.2 KW	수평 60 m 수직 20 m	80 l

이 Mixer 와 Pump 를 이용할 경우의 배합비 는 아래와 같다(Catalog 에 의함).

(20 kg 당)

재 료	중 량	비 고
시 멘 트	8 kg	
혼 화 제	0.8 kg	
모래(최대치수 1 mm)	11.2 kg	

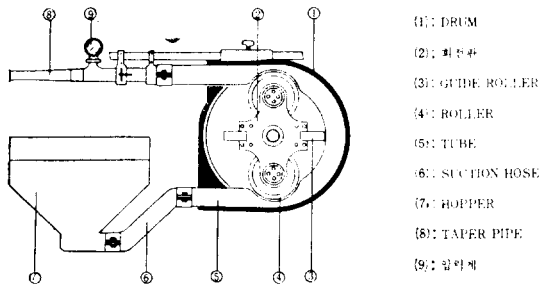


그림 35. Rotary pump

○ 압축공기를 이용하는 방법

이것은 압축용기에 혼합된 Mortar 를 넣은 후 이 용기에 고압(5~6 kg/cm²)을 가하고 용기 하부에 부착된 Hose 를 통하여 Mortar 를 공내로 주입하는 방법이다.

(1) 천 공

Slotted bolt 에서와 같음.

$$\phi = 45 \text{ mm}, l = (\text{볼트길이} - 10 \text{ cm})$$

(2) 재료의 준비

Mortar 를 Mixer (혹은 인력)로 배합하여 용기의 뚜껑을 닫은 후 압력을 가한다.

Mortar 배합비

시멘트 : 모래(세사)	1 : 1.5
물시멘트비	0.4-0.45
Flow 치	3~8 cm

(3) Mortar 의 주입

Hose (1")에 의하여 공저에서부터 Mortar 를 주입한다.

(4) Bolt 삽입

Bolt 를 Leg drill 또는 Service truck 의 부상력을 이용하여 삽입한다.

(5) 양 생

Bolt 가 움직이지 않도록 고정하여 양생한다.

품 명	MF-01	MF-02
유 효 용 량	43 l	20 l
중 량	120 kg	54 kg
압 송 기 압	5~6 kg/cm ²	5~6 kg/cm ²

* 압축용기에 대하여

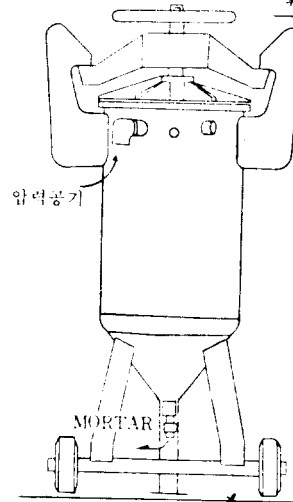


그림 36. 압력용기

○ 유공 반쪽 튜브를 사용하는 방법

(Perfo method)

(1) 천 공

Slotted bolt 와 같음.

$$\phi = 45 \text{ mm}, l = (\text{볼트길이} - 10 \text{ cm})$$

(2) 재료의 준비

구멍이 뚫린 철제 반원형 튜브 2개에 혼합된 Mortar를 각각 채우고 두쪽을 합친 후 철선(#20 정도)으로 묶는다.

(3) 튜브의 삽입

이 튜브를 공내로 밀어 넣는다.

(4) Bolt 삽입

(5) 양생

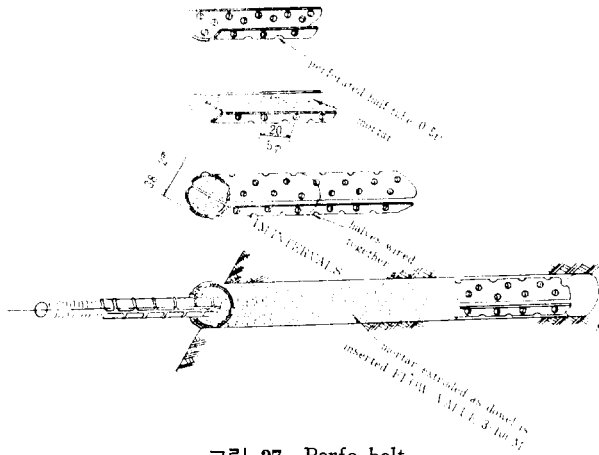


그림 37. Perfo bolt

물탈의 배합비

재	료	수	량	비	고
시	멘	트	100 kg		
셋	은	모	100 kg		
(최대치수 2mm이하)	분	산	1.4 kg	제품의 사양에 의함.	
물	시	멘	30%	표면에 잔여수분이 없	
		트		이 뭉쳐질 정도	

<부착력>

암과 주입재 : 15 kg/cm²

볼트와 주입재 : 20 kg/cm²

실측치 : 14 kg/cm²

<특징>

(1) 배 경

되게 비벼진 페이스트(Dry mix paste)나 몰탈이 펌프나 Cartridge, 압력공기 또는 유공 원형튜브 등을 사용하여 공내에 주입되고 볼트가 삽입된 뒤 나무책기 등으로 고정되어 양생되면 강도가 발생하여 볼트를 지지한다. 와이야 메쉬의 고정이나 작은 압력의 낙하방지를 위하여 판을 용접·부착하기도 한다.

(2) 장 점

- ① 간단하고 염가임
- ② 내구성 및 내부식성임
- ③ 볼트 길이에 대하여 제한을 받지 않는다.

(3) 단 점

- ① 인장을 가할 수 없다.
- ② 일정시간이 경과되어야 볼트가 인장을 받을 수 있다(양생시간이 소요).
- ③ 출수되는 지점에서는 사용하기 어렵다.

(4) 이용도

광산에서는 경지보(Light support)용으로 널리 사용되었고 토목에서는 와이야메쉬의 고정, 환기튜브의 고정, 파이핑 등의 용도로 사용.

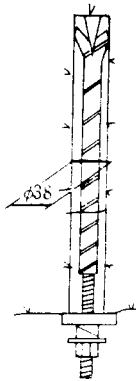
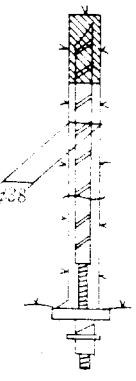
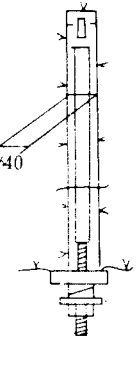
4. 록볼트의 선정

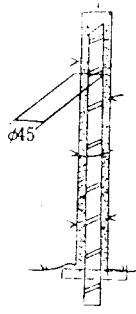
4.1 록볼트의 선정기준

록볼트의 선정을 위한 일반기준을 정할 수는 없으나, 대체로 다음 조건을 만족해야 할 것이다.

- (1) 록볼트 사용목적의 적합성
- (2) 경제성
- (3) 시공의 난이도 및 안정성
- (4) 국산자재 활용성

4-2 Rock bolt의 공법비교(시공 예)

Bolt의 종류	구성 재료	사용 장비	시공법	장점	단점
(1) Slotted bolt 	Bolt : D 25 뼈기 Plate Bevelled-washer Washer 너트	착암기 Hammer Torque-wrench	천 공 Bolt 가조립 Hammering 너트 체결	1. 간단함 2. 열 가 3. 경암에서는 충분한 강도 발휘 4. 즉시 체결 가능	1. 시공상 뼈기의 탈락 등으로 작업에 확실성과 능률성을 기하기 어렵다. 2. 정착부의 강도불확실 3. 발파의 영향에 확실성이 없다. 4. Bolt의 방식에 대한 확실성이 없다. 5. 부실시공 우려
(2) Resin bolt 	Bolt : D 25 Plate Bevelled-washer Washer 너트	착암기 Torque-wrench Rock bolter	천 공 Resin 삽입 Bolt 삽입 Bolt 회전 (Resin 교반) 경 화 너트 체결	1. 기계화 시공이 가능하며 작업이 용이하므로 능률적이다. 2. 고강도의 정착부 3. 출수의 영향을 받지 않는다. 4. 특히 작업이 어려운 천정에도 용이, 신속하게 설치 가능함.	1. 고가의 외국산 Resin 사용 2. 고온에서 저장수명이 짧다. 3. Bolt의 방식을 위하여는 추가로 팽창형 Resin을 사용하여야 한다.
(3) Expansion bolt 	Cone Shell bolt Plate Bevelled-washer 너트	착암기 Pipe wrench Torque-wrench	천 공 Bolt 가조립 Bolt 삽입 정착 너트 체결	1. 경암에서 확실하게 시공하면 고강도를 발휘한다. 2. 즉시 체결가능 3. 출수의 영향을 받지 않는다.	1. 고가 2. 시공상 수동으로 Bolt를 회전시켜야 하므로 작업의 신빙성과 능률을 기대하기 어렵다. 3. 확실한 설치를 위하여 기능성의 숙련성이 요구된다. 4. 시공상 부실시공의 우려가 있으며 부단한 감독이 필요 5. 발파에 대한 확실성이 없고 부식방지가 어렵다.

Bolt의 종류	구성 재료	사용 장비	시 공 법	장 점	단 점
(4) Slack bolt 	Bolt Grouting 용 시멘트 Paste	착암기 Grout pump	천 공 Cement- grouting Bolt 삽입 양생	1. 열가 2. 설치가 간단함 3. 내구성·내부식성 4. 발파의 영향에 대하여 안전 5. 천공길이의 변화에 대하여 제한을 받지 않는다.	1. 누수개소 시공불가 2. 일정시간 경과 후에만 Bolt가 인장을 받을 수 있다. (Cement paste 경화 시간 필요)

공법별 검토 요약

Fuelstore에서 제공한 Basic Data, Detail engineering 도 및 NATM 공법에 의한 시공실례와 본

공사 시공 현장에서 2차에 걸쳐 시행한 표본시험의 결과 공법선정을 위한 유리한 공법의 우선 순위는 다음 사항과 같음.

상 요 항 목	우 선 순 위				비 고
	(1)	(2)	(3)	(4)	
가) 소요강도의 확실성	Resin anchor B.	Slack B.	Expansion B.	Slotted B.	
나) 경 제 성	Slack bolt	Slotted B.	Expansion B.	Resin B.	Resin 은 수입품임.
다) 시공의 난이도 및 안정성	Resin bolt	Slack B.	Expansion B.	Slotted B.	
라) 내구성 및 내부식성	Slack bolt Resin bolt (팽창성 Resin 병용)	Expansion resin B. (선단정착용) Slotted B.			
마) 장대 Bolt 소요시 시공성	Slack B.	Expansion Resin Slotted			L=4M 이상이 요구되는 경우

4.3 사용 록볼트의 선정

상기 재반사항과 현장시험결과를 고려할 때 상향작업구간(천정)은 (1) Resin 볼트, (2) Slack 볼트의 순으로 시공이 유리하며, 수평 및 하향 작업구간은 (1) Slack 볼트가 유리하다. 그러므로 천정은 Resin 볼트를, 벽체는 Slack 볼트를 사용하는 것으로 하였다. 그러나 천정 중에서도 장대볼트를 필요로 하는 것이나 선행볼팅(Pre-bolting)을 요하는 곳은 Slack 볼트로 시공하고, 벽체 중에서도 용수가 있는 곳은 Resin 볼트를 사용하였다.

5. 록볼트의 구경, 길이, 간격 및 방향의 결정방법

록볼트의 구경, 길이, 간격 및 방향은 록볼트의 기능을 고려하여 결정하여야 유효하게 작용한다. 이들의 방법에는 다음과 같은 방법이 있다.

- (1) 경험에 의한 대체적 기준으로 결정하는 방법
- (2) 암-지보공의 일체작용 이론에 의하여 해석하는 방법

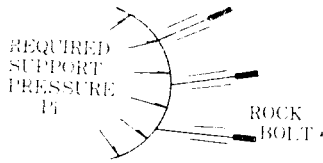
(3) 암반의 지보공으로서 절리의 모양에 따라 계산하는 방법
 5.1 경험에 의한 대체적 기준으로 결정하는 방법
 경험에 의한 볼트의 간격과 길이의 터널 크기 (Size)에 대한 비는 대체적으로 다음과 같다.

근	거	기	준
Design of Tunnel Liners & Support System (by D.U. DEERE et al)	구경 : 통상 25 mm $L = (1/3 \sim 1/2) B$ 통상 1.8~2.4 m a=0.9~2.4 m 배치방법 : 현장의 절리방향에 따라 결정		
Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support (by BARTON et al)	천	정	벽
	Untensioned bolt $L = 2 + \frac{0.15 B}{ESR}$		$L = 2 + \frac{0.15 H}{ESR}$ $L = \frac{0.35 H}{ESR}$
	Tensioned bolt $L = \frac{0.4 B}{ESR}$		
간격 $a = \sqrt{P_i}$ $L = B/3 \sim B/4$ a=1.2~1.5 m			
Underground Excavation in Rock (E. HOEK et al)	길이 $L = \text{볼트간격의 } 2 \text{ 배}$ $L = \text{평균절리간격의 } 3 \text{ 배}$ $L = B/2 (B \text{ 가 } 6 \text{ m 이하일 때})$ $= B/4 (B \text{ 가 } 1.8 \sim 3.0 \text{ m 일 때})$ $= H/5 (\text{높이가 } 18 \text{ m 이상인 측벽볼트})$		} 중 최대값
간격 $a = L/2$ $= \text{평균 절리간격의 } 1\frac{1}{2}$ } 중 최소치			
The Art of Tunneling (by K. SZECHY)	$L > \frac{B}{3} \sim \frac{B}{4}$ $L > L_1$		

여기서
 L : 볼트의 길이
 B : 터널의 폭
 a : 볼트의 간격
 ESR : 동굴지보율(Cavern에서 1.0~1.3)
 H : 터널 벽체의 높이
 Pi : 지보압력
 L₁ : 막장에서 볼트를 설치하는 지점까지의 거리

5.2 암-지보공의 일체작용
 (Rock-support intraction)
 Rock reinforcement로서의 Rock bolt에 의한 해석
 이 방법은 록볼트가 암반을 지지하는 구조체의 일부(주구조체는 암자체)로 보고 연속성의 개

념으로 암반과 록볼트가 하중에 의하여 일체로 작용하는 것으로 가정하여 해석하는 방법이다.
 연속성 개념에 따라 터널의 소요 지보압력 (Required support pressure) pi를 산정하여 록볼트가 이 압력을 받도록 간격을 결정한다.
 그림에서 Rock bolt가 받을 수 있는 최대 강



도는

$$Tb = A\sigma$$

간격이 a 라면 단위면적당의 압력은

$$p = \frac{Tb}{axa}$$

Bolt 가 소요지보압력 pi 를 안전하게 받아야 하므로 소요 최대간격을

$$a = \sqrt{\frac{Tb}{npi}}$$

이다.

여기서 pi : 소요지보압력

Tb : 볼트 1개당의 강도

p : 단위면적당의 Bolt 강도

n : 안전율(1.5~2)

5.3 암반의 지보공으로서 절리의 양상에 따라 계산하는 방법

암의 연속개념과 암반-지보공 일체작용 해석으로 암이 안정하다 할지라도 국부적인 파쇄대나 절리의 교차에 의한 암피의 낙반이나 활동이 있을 수 있다. 공동전체적으로는 안정하다고 가정하고 국부적인 절리의 배치나 파쇄대에서 암피의 낙하나 활동에 저항하도록 볼트의 간격과 길이를 결정하는 방법이 이 방법이다.

5.2에서 설명된 암반보강공으로서 설치되는 록볼트는 규칙적으로 배치되므로 패턴(Pattern) 볼팅이라고 하며, 암반지보공으로서 설치되는 것은 파쇄대에 국부적으로 설치되거나 절리의 배치와 방향에 따라 불규칙적으로 설치되므로 랜덤(Random), 볼팅(또는 Local bolting)이라고 한다.

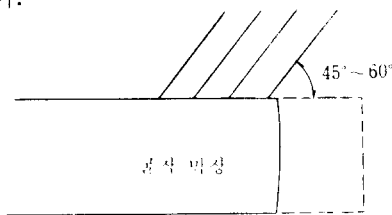


그림 38. Spiling

(경사지게 Rock bolt 를 설치)

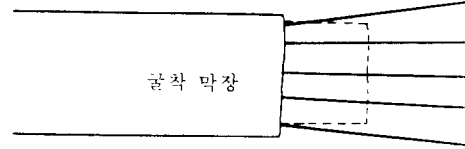


그림 39. Fore-poling

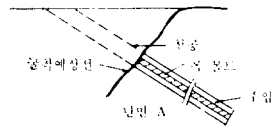
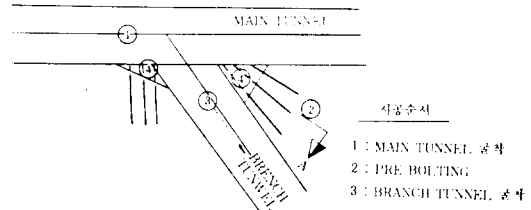


그림 40. Pre-bolting

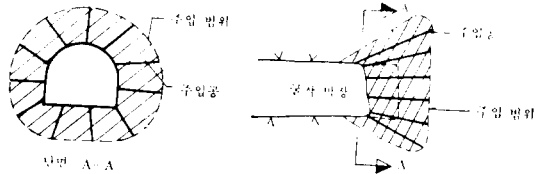


그림 41. 선행주입

6. 록볼트의 시험방법

6.1 뽑기시험(Pull out test)

(1) 목 적

시공된 록볼트를 현위치에서 뽑기시험을 통하여 정착부의 강도와 볼트의 강도를 확인하고 하중과 변위와의 관계를 알기 위하여 실시함.

(2) 시험실시빈도

- ① 시공초기에 볼트의 종류마다 실시
- ② 암의 강도에 현저한 변화가 있다고 생각될 때(강도차이 300 kg/cm² 이상)
- ③ 기타 볼트의 강도를 알 필요가 있을 때

(3) 시험방법

시공된 록볼트의 끝에 연결 Coupling 을 사용하여 볼트를 연장하여 Jacky 에 의하여 볼트가 빠질 때까지(또는 타단될 때) 인장하고 이때 인장력과 변형량을 기록한다.

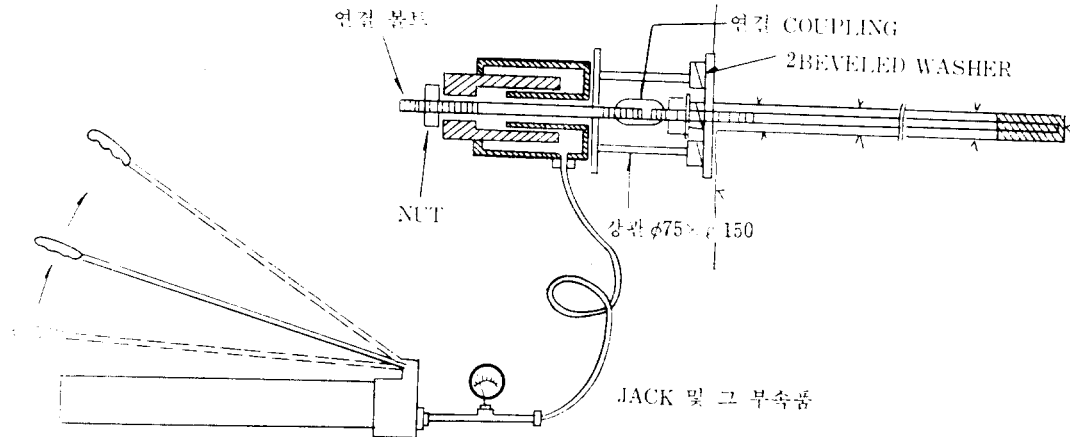


그림 42. 록볼트의 인발시험

볼트가 빠질 때나 파단될 때 장비가 떨어져서 손상되지 않도록 주의한다.

(4) 소요장비 및 기구

- ① Jack 및 계기 : 용량 25 t 급
- ② 연결 Coupling
- ③ 연결볼트(M 24 l=300 m/m—Jack 에 따라 결정되어야 함).
- ④ 너트(M 24)
- ⑤ 강관 φ 75×l 150
- ⑥ Bevelled washer—2개

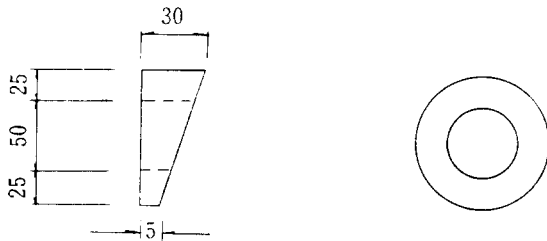


그림 34. Bolt 인발시험용 Bevelled Washer

게 측정하기 위하여 실시함.

(2) 시험실시빈도

- ① 시공초기에 볼트의 종류마다 실시
- ② 사용하는 볼트나사와 너트 사양에 변경이 있을 때 실시
- ③ 기타 필요시

(3) 시험방법

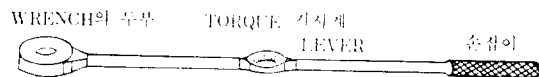
“6-1 뽑기시험”과 같은 상태에서 Torque wrench에 의하여 너트를 조이면서 Torque wrench에 나타난 Torque 치와 Jack의 인장력을 기록하고 이것을 Plot 하여 Torque 치와 인장력 관계를 구한다(Torque 계수 K를 얻음).

이때 너트와 Jack면 사이의 마찰로 인한 오차를 최소화하기 위하여 윤활유를 조금 바르는 것이 좋다.

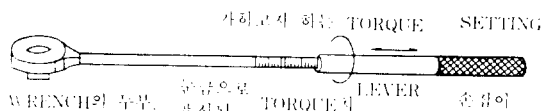
(4) 소요장비 및 기구

- ① “6-1 뽑기시험”에 사용된 기구
- ② Torque wrench—100 kg·m 급

Torque wrench



(A) Torque 치를 측정할 수 있는 Torque wrench



(B) 고정된 Torque 치를 가할 수 있는 Torque wrench

⑦ Service truck

6.2 Torque 치와 인장강도와의 관계 측정

(1) 목적

너트의 회전력(Torque)과 그때 볼트에 가해지는 인장력의 관계를 알아서 가하고자 하는 인장력에 대한 Torque 치를 계산하여 Pneumatic wrench와 Rock bolter의 Rotary mortar의 Torque 치를 Setting 하고 이미 시공된 록볼트에 가해진 인장력을 Torque wrench에 의하여 쉽

6.3 긴장된 볼트의 Torque 치 측정

(1) 목 적

이미 긴장된 볼트를 Torque Wrench 에 의하여 Torque 치를 측정하여 “6.2”에서 구한 Torque 치 인장력과의 관계로부터 볼트가 받고 있는 인장력을 알기 위하여 실시

(2) 실시빈도

① 록볼트가 받고 있는 인장력을 알고자 할 때

② 록볼트시공의 감독상 필요할 때

(3) 시험방법

이미 실시된 볼트의 너트를 1/4 회전만큼 풀고 다시 조일 때의 Torque 치를 측정하고 이것을 인장력으로 환산한다.

(4) 소요장비 및 기구

① Torque wrench—100 kg·m 급

② Service-truck