

# 방식 표면 처리된 볼트의 축력 신뢰성 평가

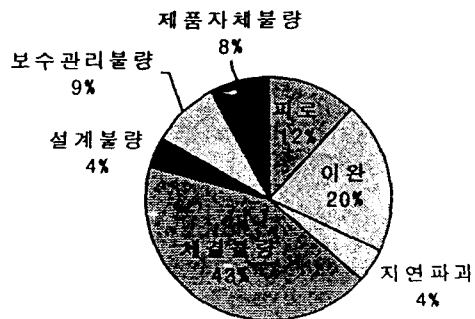
2001. 6. 22.

대우중합기계(주) 신뢰성평가센터

## 볼트 체결 관리 중요성

### ■ 나사 체결 실태 조사 결과

- 일본 나사연구협회 조사연구보고서



### ■ 볼트 체결시 고려사항

- 적정 체결력의 확보
  - ▶ 설계시 하중 형태, 크기 등 고려
  - ▶ 볼트의 적정 위치, 치수, 수량 선정
- 하자 발생 억제
  - ▶ 체결 불량 방지
    - 체결 도구, 체결법 선정
    - 작업성 확보
  - ▶ 이완/피로파손 방지
    - 적정 축력 관리 (적정 축력비 확보)
    - 보조 부품 사용 (필요시 하자 기구별)
    - 피체결물 관리

### ■ 축력 관리

- 적정 토오크의 설정
  - ▶ 작용하중 크기/형태 고려
- 적정한 체결법의 선택
  - ▶ 토오크법/회전각법/토오크기울기법
- 축력 산포 요인 억제
  - ▶ 공구/작업자 관리
  - ▶ 피체결물 표면 관리

## 축력 평가 목적



### ■ 방식 표면처리 볼트의 체결 특성 비교

- 평가 대상 표면처리 : 총 5종
  - ▶ 인산염 피막처리 - 기존품
  - ▶ 다크로 처리
  - ▶ 다크로 + 토오크 안정화 처리
  - ▶ 다크로 + 흑색 피막 처리
  - ▶ 다크로 + 흑색 피막 + 토오크 안정화 처리
- 체결 특성 비교/평가
  - ▶ 축력-토오크 관계, 토오크 계수 (K)
  - ▶ 축력 및 토오크 계수 산포 정도 평가

### ■ 축력 측면에서의 표면처리 볼트 적용 타당성 평가

- 규정 조임 토오크에서의 볼트 축력 측정 및 비교
  - ▶ 평균 축력 vs. 실제 기준 축력
- 적정 조임 토오크 검토
  - ▶ 축력 산포, 축력비

⇒ 내식성 및 도장성, 축력 고려 - 최적 볼트 선정

www.cpr.co.kr



## 축력 평가 시험 조건



### ■ 평가 대상 볼트

1) 호칭	피혁	길이	규정 토오크	실제 기준 축력	최소인장축력 (MD 2230)	부중하중 (KS B0233)	최소인장하중 (KS B0233)	비고
M16	2.0	70 mm	30 kgfm	11,500 kg	15,102 kp	13,265 kg	16,632 kg	부동 내사
M20	1.5	70 mm	55 kgfm	14,500 kg	26,020 kg	23,061 kg	26,513 kg	부동 내사

- 용도: 굴삭기 등 중장비용

### ■ Bolt Testing Machine(전문 A사)

- 정격 사양
  - ▶ 최대축력 20 ton, 최대토오크 : 60 kgfm
  - ▶ 회전각 : 5 rev. / 회전 속도 : 2 rpm
  - ⇒ M16 시험 가능
  - ⇒ M20 : 시험기 정격 사양 초과
    - M20 토오크 하향 적용

### ■ 피체결물 조건

- 자리면 와셔/너트
  - ▶ 실제 체결 조건 모사
  - ⇒ 재질, 경도 및 조도 등
  - ▶ 매 시험마다 신품 교체 사용

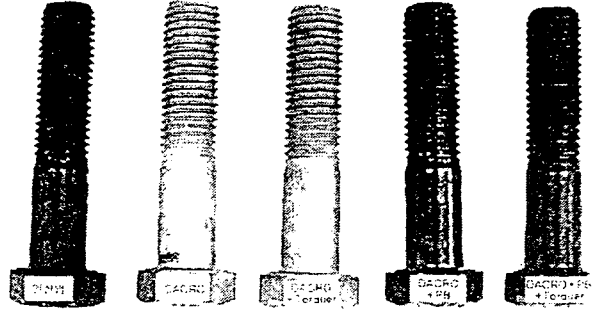
### ■ 축력 시험 조건

- 토오크 제한 시험 : 규정 토오크 +  $\alpha$ 
  - ▶ M16 : +3 kgfm (33 kgfm)
  - ▶ M20 : +10 kgfm (45 kgfm)
  - ⇒ M20 : 시험 데이터 외삽
    - 규정 토오크시 축력 추정
- 회전 속도 : 2 RPM (장비 고유 성능, 변경 불가)
- 유효 시험 개수 : 총 50개
  - ▶ 볼트 사이즈 (2종) x 표면 처리 (5종) x 시험편수 (5개)
- 출력 데이터
  - ▶ 축력-회전각
  - ▶ 축력-토오크
  - ▶ 토오크 계수

www.cpr.co.kr



## 표면 처리별 M16 볼트 (시험 후)



### ■ 시험전 나사면 상태

- 흑색피막 처리 볼트 2종:
  - ▶ 피막층 불균일 및 부분적 집중: 초도 개발에 따른 공정 불안
  - ↳ 조임시 초기 체결력 과다
  - ↳ 육안 확인 후 피막 불균일 정도 심한 시편 배제

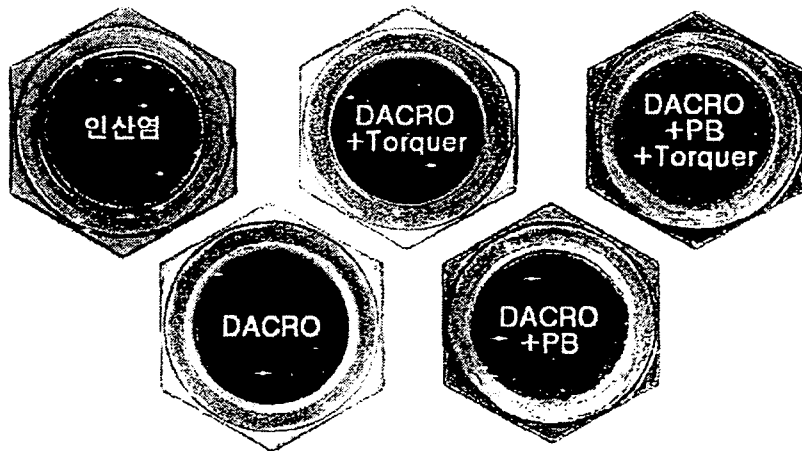
### ■ 시험후 나사면 상태

- 흑색피막 처리 볼트 2종: 피막층 손상정도 심함

www.cpr.co.kr



## 축력 시험 후의 M16 볼트 자리면 비교



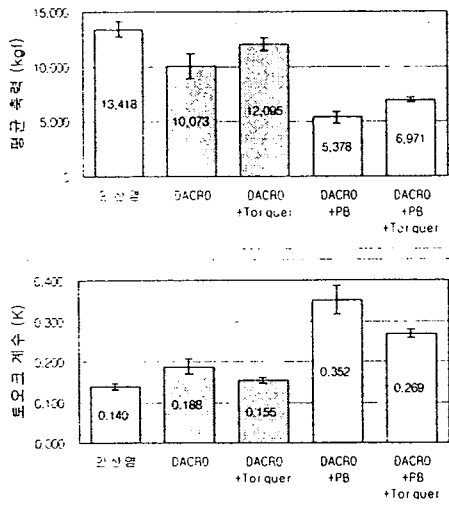
### ■ 축력 시험 후 자리면 상태

- 인산염, DACRO, DACRO + Torquer : 양호 (마모흔 균일)
- DACRO + PB, DACRO + PB + Torquer : 불량 (국부적인 심한 마모흔)

www.cpr.co.kr



# M16 볼트 축력 시험 결과



## ■ 평균 축력(규정 토크 조임시)

- 인산염 볼트 최대
- 다크로 + 토크 안정화 볼트 양호
- 흑색 피막 처리 볼트 축력 과부족
  - ▶ 토크 안정화 처리 유/무 무관

## ■ 토크 계수 (K)

- 축력과 반비례
  - ▶  $T = K F d$
  - ▶ T: 토크, F: 축력, d: 호칭지름
- 토크 계수 증가
  - ▶ 마찰계수 (자리면, 나사면) 증가
  - ▶ 조임 토크 대비 축력 저하

## ■ 축력 및 토크 계수 편차

- 인산염 볼트 양호
- 토크 안정화 미처리시 편차 증대
  - ▶ 토크 안정화 처리 필수

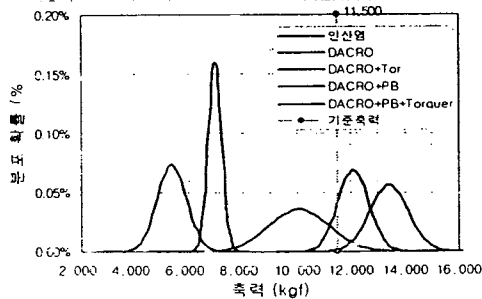
www.cpr.co.kr



# M16 볼트 축력 분포



표면처리	Torque (kgf.m)	축력 (kgf)				토크 계수		축력 범위 (kgf)	
		평균값	표준편차	편차비	축력비	평균값	표준편차	하한(5%)	상한(95%)
인산염	30	13,418	706	5.3%	89%	0.140	0.008	12,257	14,579
DACRO	30	10,073	1,122	11.1%	67%	0.188	0.019	8,228	11,919
DACRO+Torquer	30	12,095	577	4.8%	80%	0.155	0.007	11,146	13,043
DACRO+PB	30	5,378	545	10.1%	36%	0.352	0.035	4,482	6,274
DACRO+PB+Torquer	30	6,971	249	3.6%	46%	0.269	0.010	6,561	7,381



표면처리	실제하중 대비		
	평균 축력비	Z (정규분포)	축력미달 확률
인산염	117%	-2.72	0.33%
DACRO	88%	1.27	89.82%
DACRO+Torquer	105%	-1.03	15.13%
DACRO+PB	47%	11.24	100.00%
DACRO+PB+Torquer	61%	18.16	100.00%

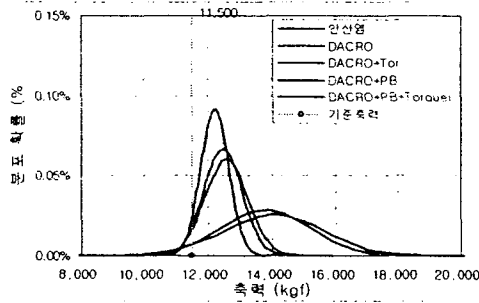
<sup>1</sup> 편차비=표준편차/평균축력  
<sup>2</sup> 축력비=해당축력(평균축력) / 실제축력 (적용값 70~80%)  
<sup>3</sup> 미달확률비=평균축력-기준축력

www.cpr.co.kr



## 설계하중 기준 M16 볼트 최적 체결조건

표면처리	설계하중·구현 조건(95% 총속 기준)					속력 범위 (kgf)		
	Torque (kgLm)	평균속력 (kgf)	표준편차 (kgf)	2속력비	Torque 증분(kgLm)	Torque 증분(%)	하한(5%)	상한(95%)
인산염	28.2	12,589	662	83%	-1.8	-6.0%	11,500	13,679
DACRO	42.3	14,079	1,568	93%	12.3	41.0%	11,500	16,658
DACRO+Torquer	31.0	12,479	595	83%	1.0	3.4%	11,500	13,458
DACRO+PB	77.6	13,798	1,397	91%	47.6	158.7%	11,500	16,097
DACRO+PB+Torquer	52.6	12,219	437	81%	22.6	75.5%	11,500	12,938

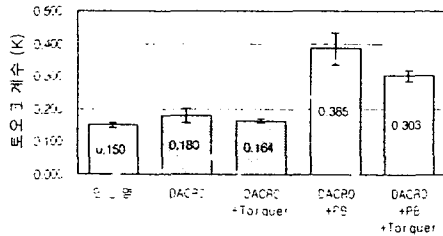
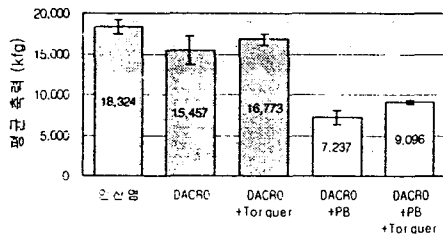


- 인산염 : 양호
  - 기존 상태 : 다소 과토폰크
- 다크로 + 토폰크 안정화 : 양호
  - 속력 양호, 편차 양호
- 다크로 : 적용 불가
  - 편차 극심, 현 조임 토폰크 부족
- 흑색처리 : 적용 불가
  - 현 조임 토폰크 크게 부족
  - 토폰크 안정화 처리 유무와 무관
- 속력비 : 실패복속력 고려, 적정

www.cpr.co.kr

대우중공업기계

## M20 볼트 속력 시험 결과



- 평균 속력(규정 토폰크 조임시)
  - 인산염 볼트 최대
  - 다크로 + 토폰크 안정화 볼트 양호
  - 흑색 피막 처리 볼트 속력 과부족
    - ▶ 토폰크 안정화 처리 유/무 무관
- 토폰크 계수 (K)
  - 속력과 반비례
    - ▶  $T = K F d$
    - ▶ T: 토폰크, F: 속력, d: 호칭지름
  - 토폰크 계수 증가
    - ▶ 마찰계수 (자리면, 나사면) 증가
    - ▶ 조임 토폰크 대비 속력 저하
- 속력 및 토폰크 계수 편차
  - 인산염 볼트 양호
  - 토폰크 안정화 미처리시 편차 증대
    - ▶ 토폰크 안정화 처리 필수

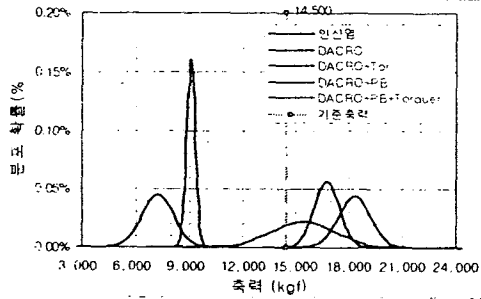
www.cpr.co.kr

대우중공업기계

# M20 볼트 축력 분포



표면처리	Torque (kgf.m)	축력 (kgf)				토크 계수		축력 범위	
		평균값	표준편차	<sup>1</sup> 편차비	<sup>2</sup> 축력비	평균값	표준편차	하한(5%)	상한(95%)
인산염	55	18,324	912	5.0%	70%	0.150	0.008	16,824	19,825
DACRO	55	15,457	1,783	11.5%	56%	0.180	0.023	12,524	18,391
DACRO+Torquer	55	16,773	707	4.2%	64%	0.164	0.007	15,609	17,936
DACRO+PB	55	7,237	894	12.4%	28%	0.385	0.049	5,767	8,708
DACRO+PB+Torquer	55	9,096	249	2.7%	35%	0.303	0.017	8,686	9,507



표면처리	설계하중 대비		
	<sup>3</sup> 평균 축력비	Z (정규분포)	축력미달 확률
인산염	125%	-4.19	0.00%
DACRO	107%	-0.54	29.57%
DACRO+Torquer	116%	-3.21	0.07%
DACRO+PB	50%	8.12	100.00%
DACRO+PB+Torquer	63%	21.67	100.00%

<sup>1</sup>편차비=표준편차/평균축력

<sup>2</sup>축력비=예장력(평균축력)/항복축력 (적정값: 70~80%)

<sup>3</sup>평균축력비=평균축력/기준축력

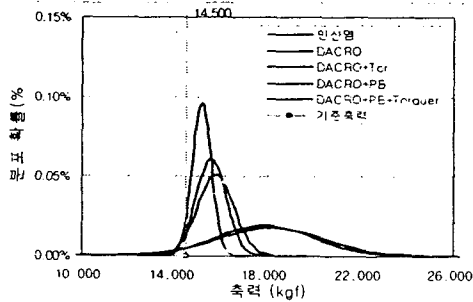
www.cpr.co.kr



# 설계하중 기준 M20 볼트 최적 체결조건



표면처리	설계하중 구현 조건(95% 충족 기준)						축력 범위	
	Torque (kgf.m)	평균축력 (kgf)	표준편차 (kgf)	<sup>2</sup> 축력비	Torque 증분 (kgf.m)	Torque 증분 (%)	하한(5%)	상한(95%)
인산염	47.5	15,793	786	61%	-7.5	-13.6%	14,500	17,087
DACRO	64.4	17,896	2,065	69%	9.4	17.2%	14,500	21,293
DACRO+Torquer	51.2	15,581	657	50%	-3.8	-7.0%	14,500	16,662
DACRO+PB	140.0	18,198	2,248	70%	85.0	154.6%	14,500	21,897
DACRO+PB+Torquer	92.0	15,185	416	58%	37.0	67.3%	14,500	15,869



- 인산염 : 양호
  - 현재 14% 오버토크 상태
- 다크로 + 토크 안정화 : 우수
  - 축력 양호, 편차 양호
- 다크로 : 적용 불가
  - 편차 극심, 현 조임 토크 부족
- 흑색처리 : 적용 불가
  - 현 조임 토크 크게 부족
  - 토크 안정화 처리 유무와 무관
- 축력비 : 축력기준 상향 가능

www.cpr.co.kr



## 결론



### ■ 인산염

- 축력 양호
  - ▶ 설계 기준 축력 대비 실제 축력 높음
    - 117% (M16) - 126% (M20) (평균 축력 기준)
    - 다소 오버토크 상태
      - 체결물, 와셔 등에 따라 가변적
- 축력 편차 양호
  - ▶ 표준 편차 : 평균 축력의 5.0% 이내

### ■ 다크로+토오크 안정화

- 축력 양호
  - ▶ 인산염 대비 소폭 감소
  - ▶ 설계 기준 축력 대비 평균 축력 다소 높음
    - 105% (M16) - 116% (M20)
    - ▶ 규정 토오크 변경 불필요 또는 조정량 미세
- 축력 편차 양호
  - ▶ 표준 편차 : 평균 축력의 4.2% 이내

### ■ 다크로

- 축력 편차 극심
  - ▶ 파단-이완 동시 발생 가능
- 축력 부족
  - ▶ 적정 토오크 : 한기준 대비 50% 이상

### ■ 다크로+흑색 피막

- 축력 과부족
  - ▶ 적정 토오크 과대 : 한기준 대비 250% 이상
- 축력 편차 극심
  - ▶ 파단-이완 동시 발생 가능
- 자리면 심한 국부적 손상
  - ▶ 체결물 손상, 이완 발생 우려

### ■ 다크로+흑색 피막+토오크 안정화

- 축력 과부족
  - ▶ 적정 토오크 과대
- 자리면 국부적 손상
  - ▶ 체결물 손상, 이완 발생 우려

다크로 + 토오크 안정화  
→ 우수한 축력 특성 & 내식성