볼트 정비 품질향상으로 설비고장 예방을 위한

초음파 기술을 이용한 볼트 신장량 측정기술 및 그 응용사례

2017. 05

㈜재신정보

1. 기술 개요

기술 배경

➢ 주로 사용하고 있는"토크 게이지"방식의 볼트 조임은 ±25% 정확도 이므로 과 조임에 의한 기기 파손의 우려가 있음.

➢ 또한, 발전소의 경우 Steel Bar 방식의 육안 측정으로 숙련도가 필요하며, 측정자에 따라 측정값의 변동성이 있음.

※ 2005년 ○○화력발전소에서 볼트조임 과다로 사고가 발생함.
2014. 12 신고리 질소누출사고 : 밸브 볼트 과조임

필요성

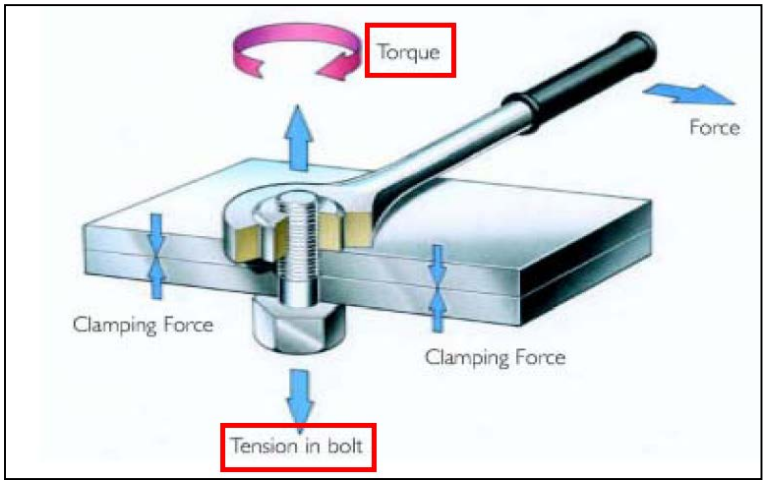
➢ 토크(Torque) 제어방식은 볼트의 접촉면 윤활 정도에 따라 마찰력에 큰 편차가 있어 정확한 제어를 할 수 없으므로, 토크의 변화량에 따른 텐션량을 직접 확인할 수 있는 기술이 필요함.

➢ 미국표준연구소(NIST) 및 미국재료시험협회(ASTM)에서 표준기술로 인정받은"초음파 볼트 텐션(신장량) 측정기"를 도입, 정비 기술의 향상이 필요

2. 현재 문제점

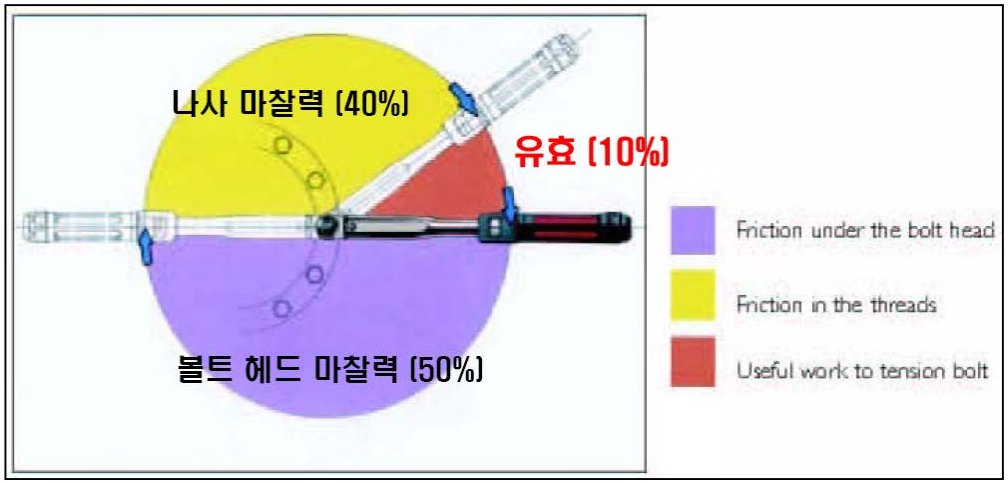
- 발전기, 터빈 등 주요 발전 기자재에 대한 볼트 조임 작업이 "토크 렌치"에 의해 확인하지만 측정오차가 매우 커서 신뢰성이 낮음.
- 개선방식으로, 중심에 홀(구멍)이 있는 볼트는 텐션으로 인한 (조임이 강해짐) 홀의 길이가 늘어나므로 이것을 측정하여 텐션을 확인하고 있으나, 이 방식도 신뢰성이 낮아 이를 근본적으로 개선하기 위한 방법이 필요함.

토크(회전력)와 팽창력의 관계



회전력(토크)으로 팽창력(Tension)dl 증가되면, 볼트의 길이가 늘어나고 조임력(Clamping Force)이 증가됨.

토크(회전력)의 유효율

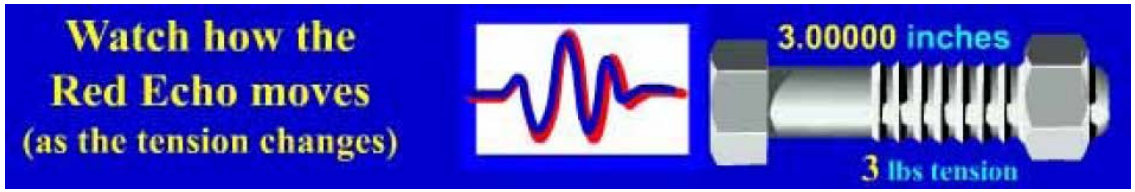


볼트를 조일 때 생기는 대부분의 텐션은 볼트 헤드의 아래부분과 나사에서 마찰력으로 없어지고, 가해진 회전력(토크)의 10%만 볼트를 늘어나게 하는데 사용됨.

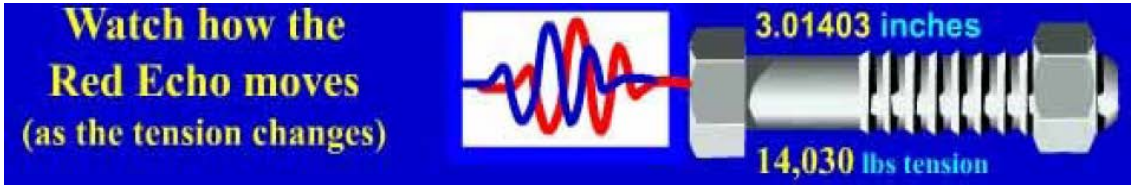
3. 개선대책

▪ 미국표준연구소(NIST), 미국 재료시험협회(ASTM)에서 권고한 "초음파 측정방식의 볼트 텐션 기술" 도입 필요
▪ 볼트에 텐션이 인가된 상태에서 볼트길이 편차(Elongation)를 산출하는 초음파 측정 방식은 정확도가 ±3~5%이내로 정확도가 우수함.

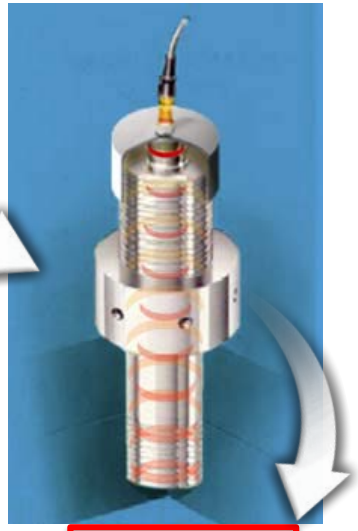
<텐션 인가 전>



<텐션 인가 후>

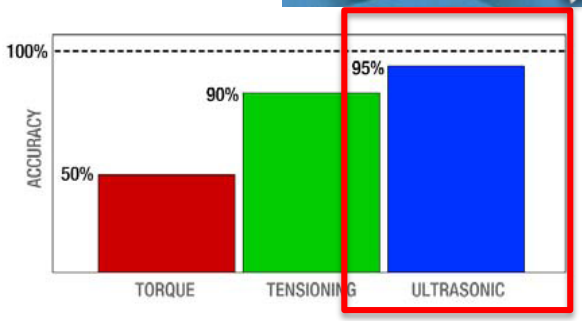


초음파 측정 모습



(참고) 볼트 측정방법에 따른 정확도 :

No	조임력 제어방법	(±)정확도(%)
1	Feeling (감각)	35
2	**Torque Wrench (토크 렌치)**	**25**
3	Turn-of-the-Nut	15
4	PLI Washer (볼트압력표시 와샤)	10
5	**초음파 Bolt Elongation 측정방식 (볼트 길이 증가분 측정)**	**3~5**



4. 도입에 따른 기대효과 및 비교표

▪ 초음파 측정에 의한 볼트텐션 측정장치를 도입하면, 볼트 과조임으로 인한 기기손상 발생을 근본적 방지.

▪ 미국 표준연구소(NIST) 및 미국 재료시험협회(ASTM)에서 권고한 신 기술 도입으로 정비기술 품질 및 업무효율 향상.(정확성, 신속성, 편리성 증대)

항 목		기존방법 (Steel bar)	신규방법 (초음파 측정)
정확성	오차율 평균	0.0069인치	0.0032인치
	오차율 표준편차	0.0049인치	0.0030인치
신속성 (측정시간)	초기길이 측정/개	1분	1분 20초
	신장량 측정/개	2분	10초
	총 소요시간	700분	200분
편리성	측정 인원수	2~3명	1~2명
	특징	- 숙련도 필요 - 휴대불편 - 측정환경 및 측정봉 변형 시 오차발생 -데이터 취득 불편(수기)	▶ 측정기 사용방법 숙지시 손쉽게 측정가능 ▶ 휴대 용이 ▶ 측정환경 등 영향 없음. ▶ Human Error 발생 가능성이 적음. ▶ 데이터 취득 용이 - 측정값 자동 저장 및 엑셀 파일 출력.
종 합	초음파 측정방식이 기존 방식보다 정확성, 신속성, 편리성 등 모든 면에서 우수한 것으로 확인됨. (작업생산성 향상)		

<표 설명> : ○○발전소 O/H 현장 실측 지원(관련자료 동 제안서 7번 항목 참고)
- 측정시간 : 히팅 볼트 100개 기준, 측정방법 (길이 1회, 신장량 3회)
- 기존방법 총 소요시간 : (1분×100) + (2분×300) = 700분
- 신규방법 총 소요시간 : (1분20초×100) + (10초×300) ≒ 200분.

5. 관련 기준

- 미국 표준기술연구소(NIST : National Institute of Standards and Techmology)

  <Fastener Quality Act : 볼트 품질관리 >

  - 결합개소 중요도가 높을수록 높은 정확도의 장치가 필요.
  - 볼트에 회전력(Torque)을 가하면, 회전력의 50~80%는 마찰력을 극복하는데 소모되므로 윤활성분이 우수하면 회전력에서 더 큰 조임력으로 변환됨.
  - 볼트가 너무 강하게 조여지면, 조임 중에 부서지거나 조임력에 실제 동력이 추가되면서 부서지게 됨.
  - 볼트가 느슨하면, 진동으로 풀리게 되거나, 부하 변동 때문에 문제가 발생될 수 있음.
  - 적정 회전력을 확인하기 위한 방법은 5개 볼트에 대하여 망가지기 직전까지 토크를 증가시키는 것임. 최적 회전력은 손상시키기 직전 회전력의 80%임.
  - 모든 볼트재질은 신축성이 있으므로, 조임력(Clamping Force)이 커지면 볼트길이는 늘어남, 텀브(Thumb)법칙에 의하면 강철은 30,000psi, 티타늄은 15,000psi가 될 경우, 1/1000정도 늘어나게 됨.

5. 관련 기준

- 미국 재료시험협회(American Society for Testing and Materials)

  <ASTM 1685-95 볼트길이 편차 측정에 대한 초음파 기술 적용기준>

  - 볼트에서 초음파 전파시간의 차이를 측정하여, 텐션으로 인한 볼트의 늘어난 길이를 측정.
  - 볼트를 조여가며 적용할 수 있고, 미리 조여진 볼트는 느슨하게 풀어가면서 조임정도를 확인할 수 있음.
  - 원자력발전소, 강철구조물 연결, 터빈, 석유화학 압력용기, 비행기, 자동차 제조공장 등에 적용가능.
  - 안전에 관계되거나 또는 ±3%이하 정밀도가 요구되는 극히 중요한 볼트에 초음파 측정기를 사용하면, 많은 신규볼트의 샘플에 대해서 재 확인을 하여야 함.
  - 텐션이 없는 상태에서 초기 길이를 측정하고, 볼트 조임을 실시한 후 텐션이 있는 상태에서 측정하여 측정값을 비교.
  - 펄스-에코 볼트 측정기는 0.0001mm 또는 0.00001인치까지 볼트길이 편차를 측정할 수 있도록 설계.
  - 이 같은 정밀도가 필요한 이유는 항복점(Yield)까지 늘어나는 볼트길이 편차가 0.003인치 정도이기 때문임.
  - 교정에는 볼트 재질에 따라 차이가 있는 Stress Factor(실제 증가분에 대한 초음파 측정 증가분), Material Velocity(매질속도)를 반드시 교정하여야 함.

6. 볼트텐션 측정기 소개

MINI-MAX, Ultrasonic Bolt Tension Monitor (초음파 볼트 신장 측정기) 측정 항목

✓ 볼트 길이(Length), 볼트 신장량 (Elongation)

✓ 볼트 축력(LOAD), 볼트 스트레스 팩터 (stress factor)

- 주요사양

. 측정대상볼트 : 1 ~ 96 인치 (2.54 ~ 244 cm)

. 시간단위 : Nanoseconds

. 해상도(Resolution) : ± 0.00001 inch (0.0001 mm)

. 속도범위 : 0.0492 ~ 0.3937 in/ms (1,250 ~ 9,999 meters/sec)

. 재질선택 : 프로그램된 볼트 재질 또는 사용자가 입력한 볼트 재질 선택 가능

. 준표시 (알람기준) : 허용한계 범위를 표시하기 위한 상한, 하한 알람 값 설정

. 반복성 바 그래프 : 측정 안정성을 표시하는 바 그래프

. 데이터 기억(내부) : 복수개의 볼트에 대하여 8,000회 측정값 입력.

. 트랜듀서 타입 : 1 MHz~10 MHz, 1/8 ~ 1 인치 직경의 유니트, 신속 결합/분리

. 온도 프루브

. RS-232C(to USB) 로 통신이 가능.

- 주요특징

. 볼트의 늘어난 길이를 측정하고 볼트의 물리적인 특징을 적용하면, 볼트에 가해진 힘(LOAD)을 계산

. 초음파적으로 볼트의 길이변화를 측정하여 볼트의 늘어난 길이를 측정

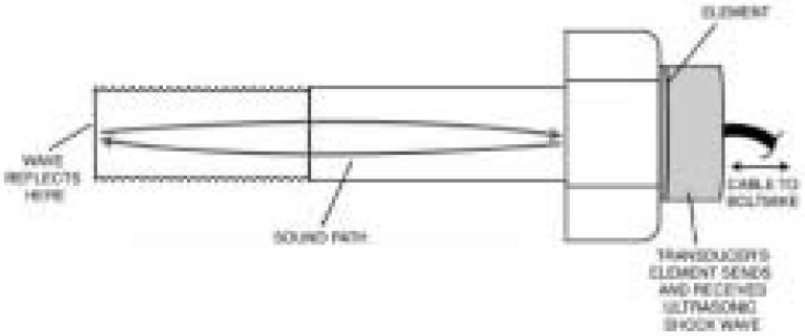
. 가변 폭 펄스송신 시스템을 사용하여 초음파 송신기에 최대 크기의 에너지를 송신할 수 있고, 다양한 볼트에 대하여 적용가능.

. 저 잡음 특성의 수신 시스템을 사용하여 어려운 현장여건에서도 초음파를 수신하여 계산결과를 산출.

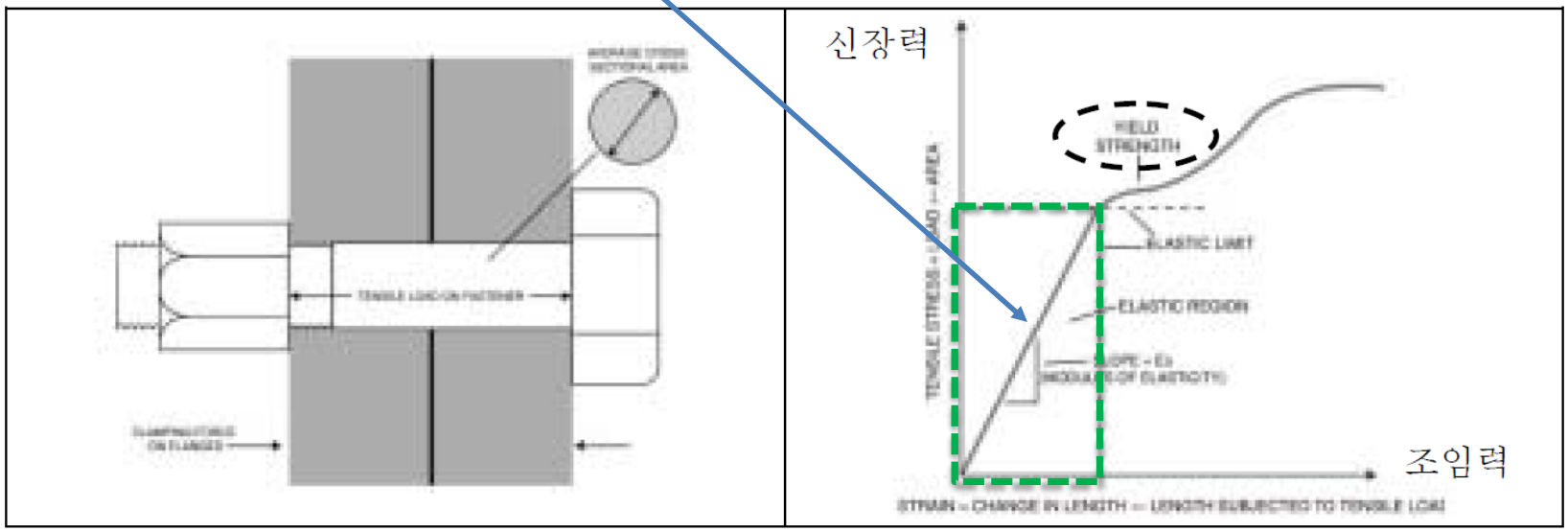
. 디티털 신호처리 프로세서를 사용하여 측정절차를 최적화 하였음.

6. 볼트텐션 측정기 소개

- **동작 이론** : 신장량이 증가함에 따라 볼트 몸체에서 음파 속도저하를 예측할 수 있으므로 초음파 측정으로 조임력을 산출할 수 있음. 볼트의 한쪽 끝에 초음파 펄스를 입력하고 끝편에서 반사되어 오는 시간을 정확히 측정하면 초음파 진행경로 변화를 계산할 수 있고, 인가된 실제 조임력을 표시할 수 있음. 송신펄스와 반사펄스의 시간 간격을 측정하여 물체의 거리를 측정함.

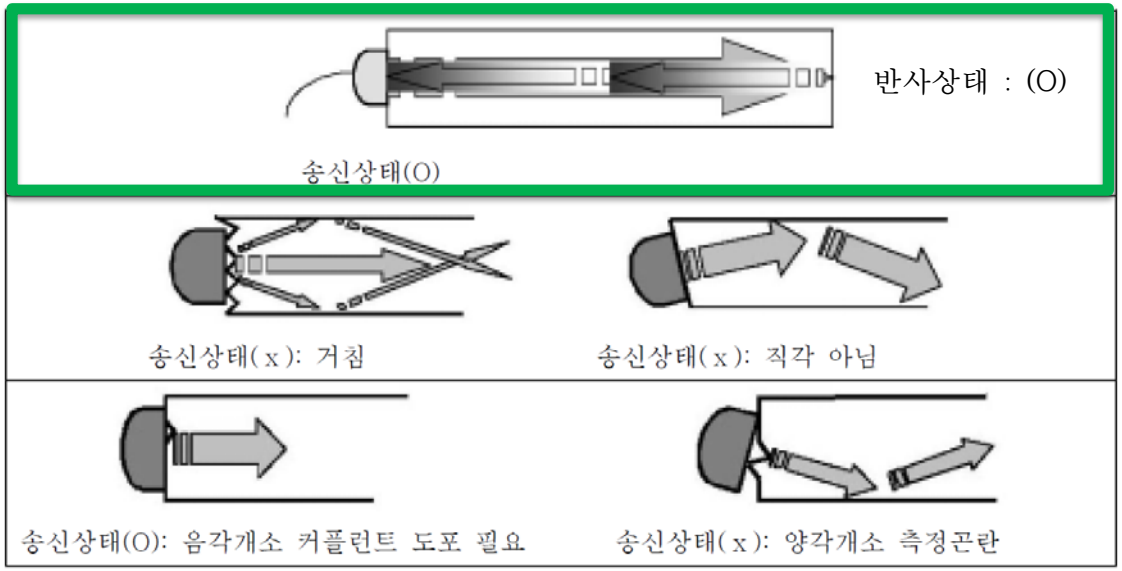


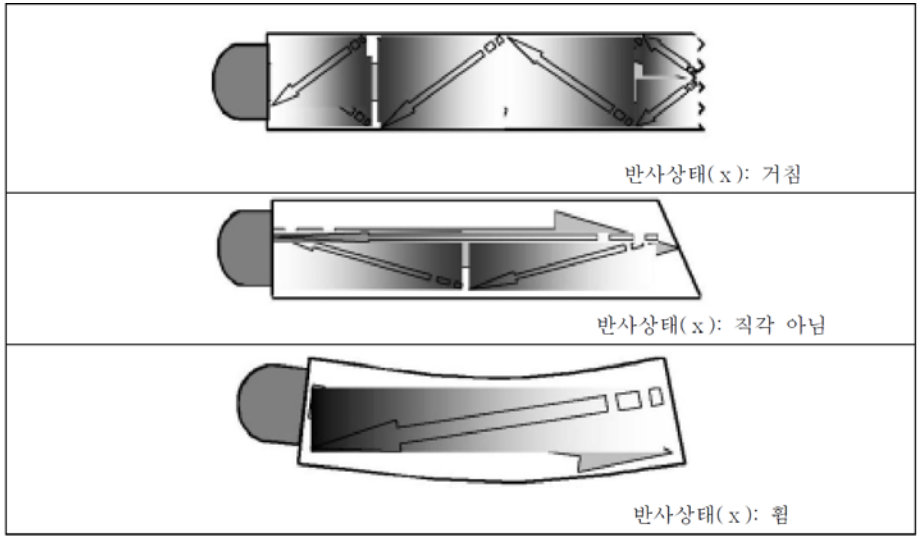
- **볼트의 특성** : 조임력의 증가에 따라 신장력의 그래프로 항복력까지는 조임력에 비례하여 볼트 길이가 늘어나는 것을 활용함



6. 볼트텐션 측정기 소개

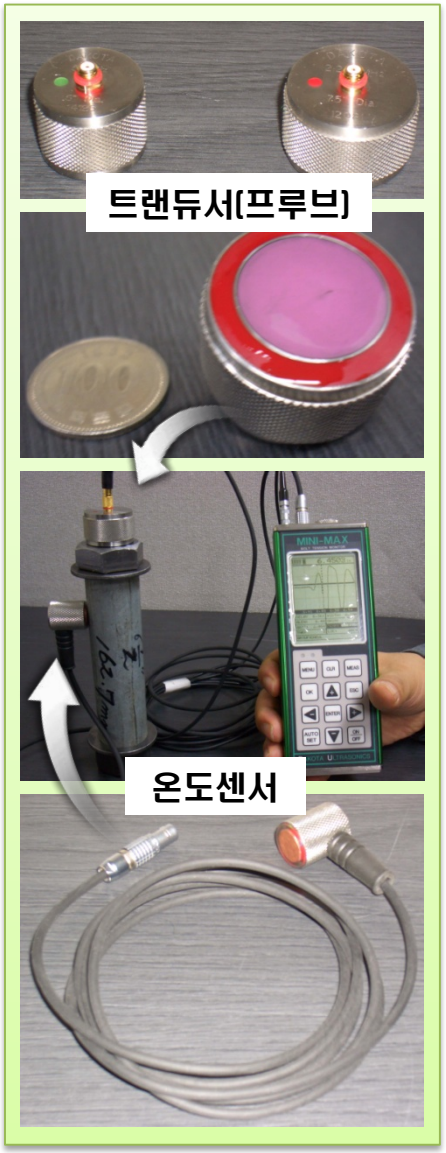
- **볼트 상태에 따른 측정 가능 여부**

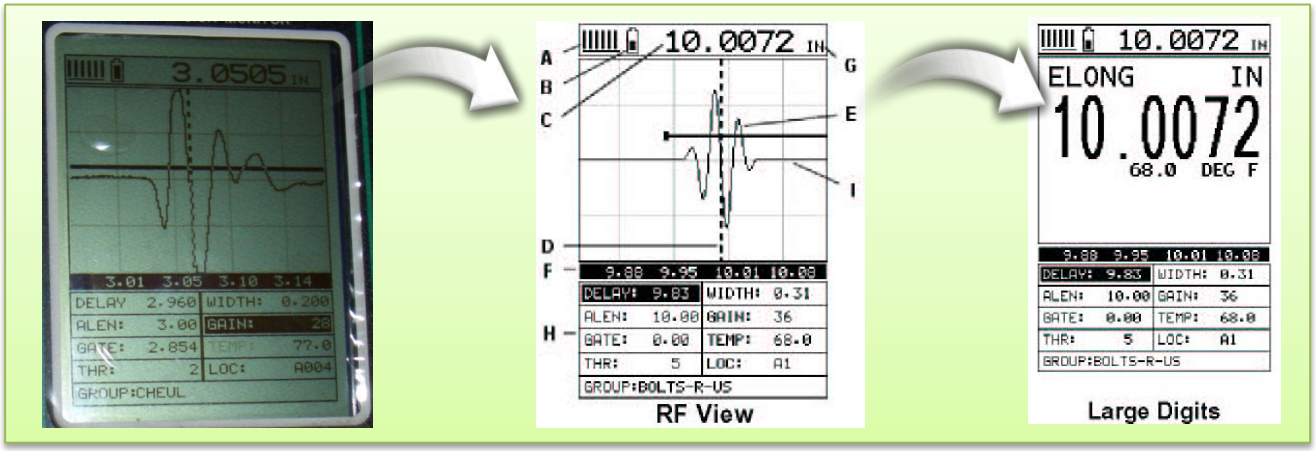




6. 볼트텐션 측정기 소개

- **볼트텐션모니터 사용 예**

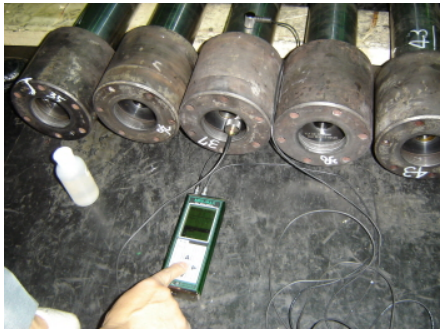




No	영문 명칭	한글 명칭	설 명
A	Stability of Reading Indicator	수신감도	반사파 크기에 따라 1~6까지 막대바 표시, 메모리의 데이터 값 표시되면 MEM 표시
B	Battery Life Indicator	베터리 잔량	베터리의 잔량을 표시
C	Length Measurement	측정된 길이	초음파로 측정된 길이 표시
D	Detect Indicator	측정값 검출선	표시된 측정값을 검출한 위치를 점선 표시
E	Echo Signal	반사파 신호	반사된 초음파를 그래프로 표시
F	Measurement Labels	측정값 지시	측정값과 관련된 눈금값 표시
G	Units Label	측정단위	측정단위 (inch, mm)
H	Hot Menus	단축메뉴	(부)메뉴를 통하지 않고 측정에 필요한 표시 변경, 측정모드, 메모리 제어 등을 바로 실시
I	Gate	게이트	특정 파형에서 잡음신호를 막고, 유효 신호를 분리하기 위한 설정

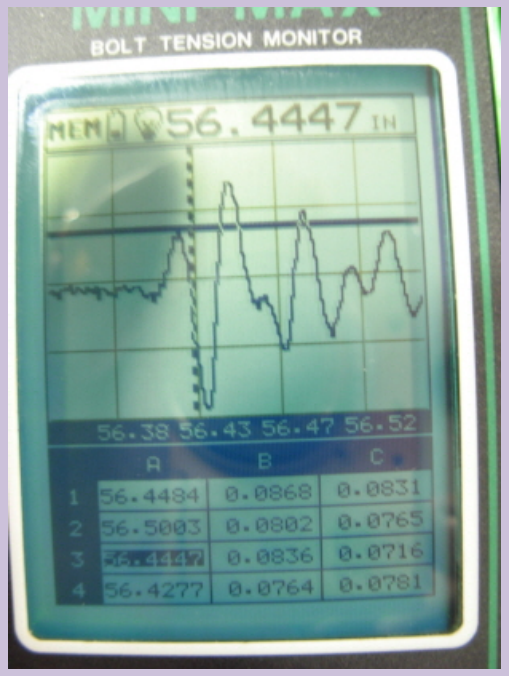
7. 현장 측정사례 – 측정절차

볼트 텐션 인가 전 초기 볼트길이 측정



1, 2차 신장량 측정

초기, 1, 2차 측정 데이타



A열 : 초기 길이
B열 : 1차 측정 신장량
C열 : 2차 측정 신장량

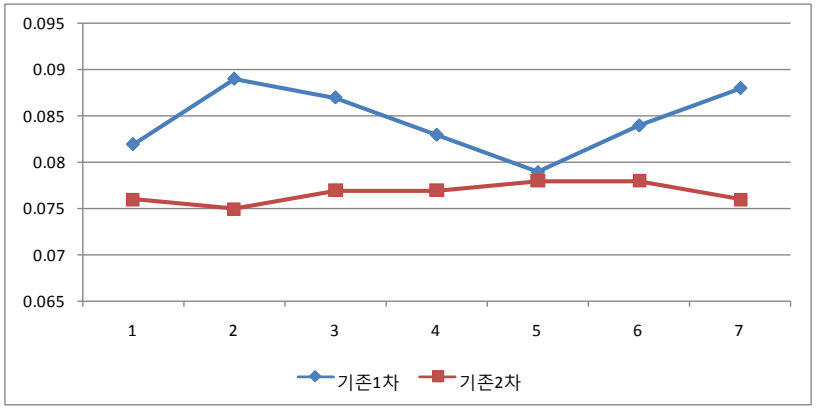
7. 현장 측정사례 – 측정 데이타 비교

구분		기존 방법 신장량 측정		초음파 신장량 측정		**기존측정**	**초음파측정**
NO	볼트길이	1차	2차	1차	2차	**오차율**	**오차율**
2	56.5003	0.082	0.076	0.0802	0.0765	0.0060	**0.0037**
6	56.4776	0.089	0.075	0.0688	0.0688	0.0140	**0.0000**
8	56.4925	0.087	0.077	0.0779	0.0744	0.0100	**0.0035**
10	56.4999	0.083	0.077	0.0814	0.0789	0.0060	**0.0025**
20	56.4991	0.079	0.078	0.0728	0.0743	0.0010	**0.0015**
24	56.4682	0.084	0.078	0.0909	0.0812	0.0060	**0.0097**
28	56.4506	0.088	0.076	0.0829	0.0838	0.0120	**0.0009**
					평균	**0.0069**	**0.0032**
					편차	0.0038	**0.0020**
					표준편차	**0.0049**	**0.0030**

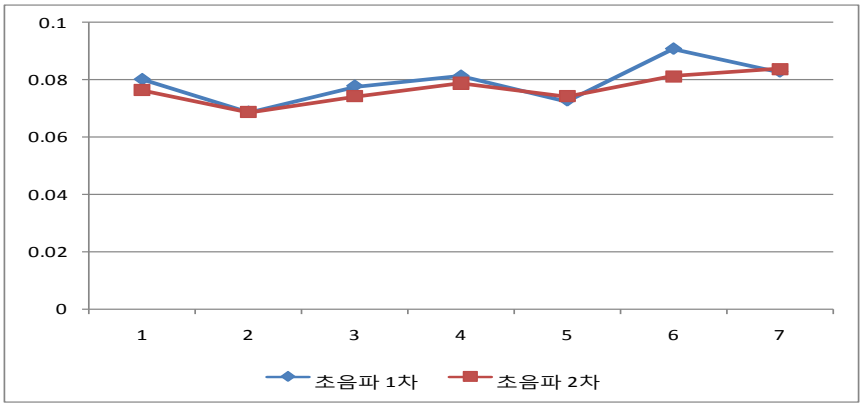
← 56인치-30개의 히팅 볼트에 대해 초음파 신장량 측정중 기존 방법(Steel Bar)으로 신장량을 1차 측정 시 기준에 적합한 것을 기준으로 비교함.

↓기존방법보다 초음파 측정기로 측정한 신장량 오차율 및 편차가 낮다 : 정확도가 높음.

기존 방법(Steel Bar) 측정한 신장량 오차율 그래프



초음파 측정기로 측정한 신장량 오차율 그래프



8. 현장 개선 사항 및 납품 실적 (한국 내)

현장 개선 사항

1. 고리 원자력발전소 : 증기발생기 STUD 볼트 신속점검을 위한 정비절차서 개정
2. 남부발전 : 터어빈 히팅 볼트 신장량 측정, 확인

   - 투입 인원 2인으로 충분, 시간 절감, 측정값 정확성 확보 가능
3. 칼링크 : 자동차 타이어 휠 고정 볼트 로드 팩터 측정에 활용하여 수출품질 보증 확보

Mini- Max 납품 실적

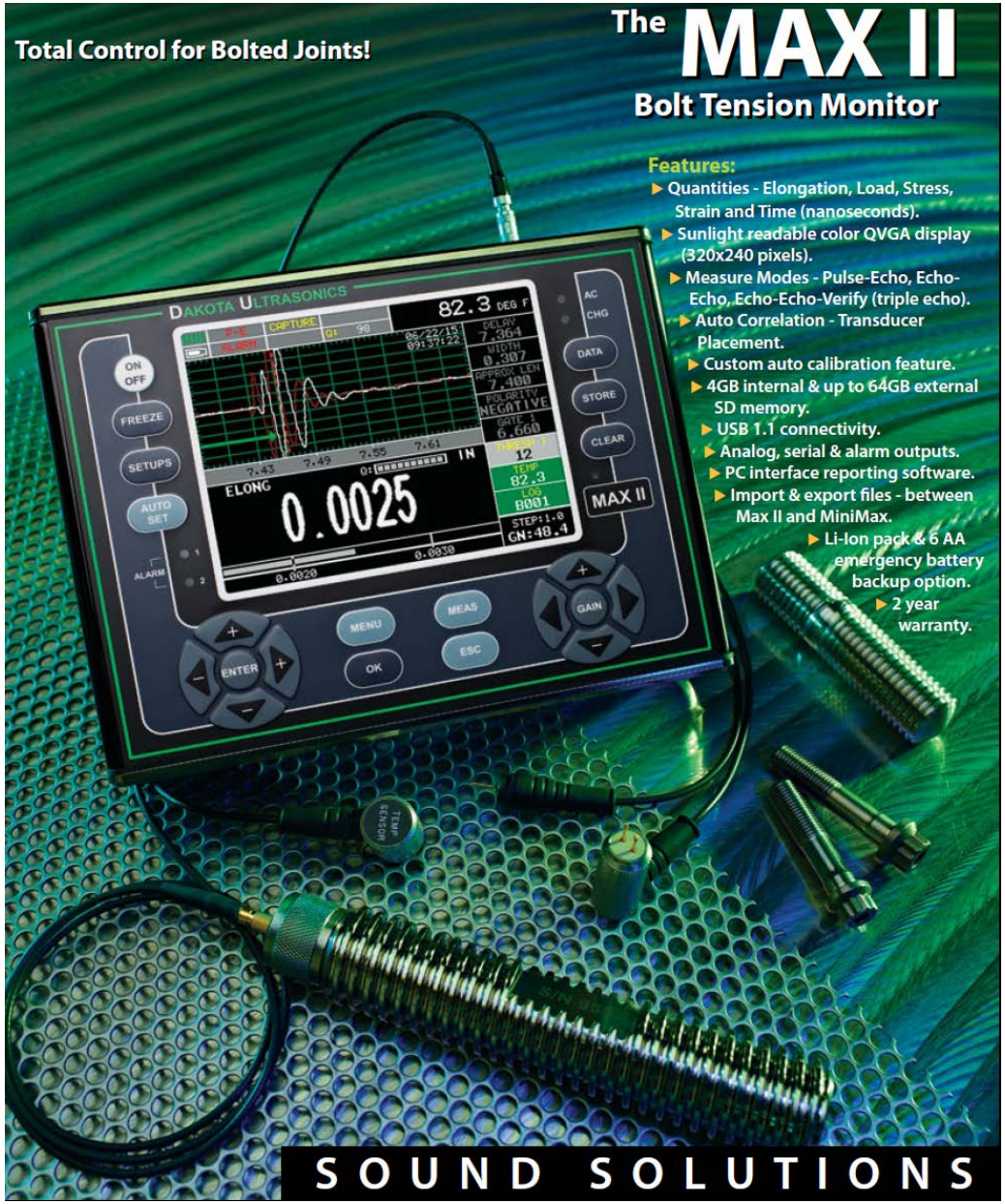
1. 수화력 발전소 : 부산천연가스, 서인천, 삼천포, 제주, 울산, 양양양수, 한전KPS 기술연구소 세종열병합발전소, 동해바이오매스,
2. 원자력발전소 : 고리본부(#1&#2KHNP, #1KPS), 한울본부(#1 KPS), 월성본부(#1 KPS), 한빛본부 (#3 KHNP),
3. 자동차 산업 : 칼링크 (크라이슬러, BMW, 폭스바겐, GM, 닛산 등)
4. 건설분야 : 현수교 케이블 조임 볼트 보수점검 (현대건설: 진도 연륙교, 울산대교 등), 금오중공업(터키 보스포러스 현수교), 대모엔지니어링 (브레카 지지볼트) , 서울시립대 건축학부
5. 신재생분야 : 풍력발전기 건설,보수 점검

MAX II 납품 실적

1. 화공 플랜트 분야 : 제일 E&S, 한화케미컬,

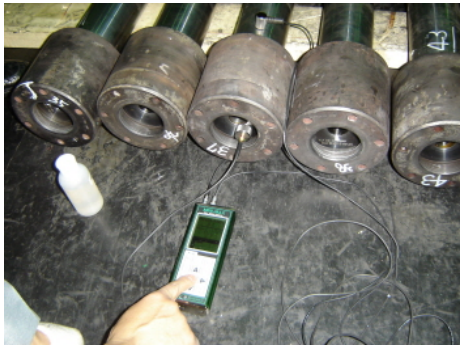
9. MAX-II 신제품 소개

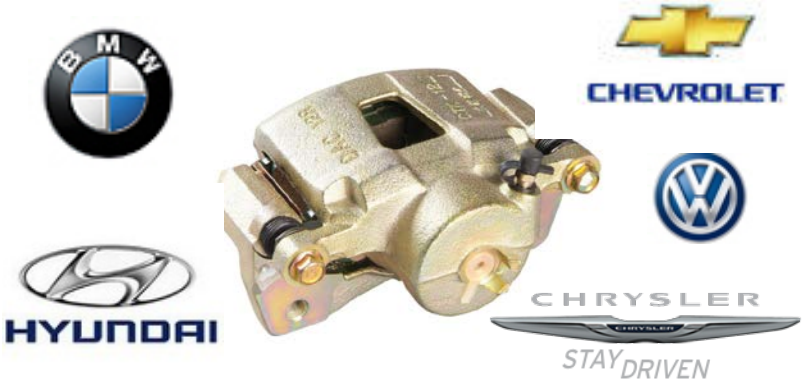
- Quantities - Elongation, Load, Stress, Strain and Time (nanoseconds).
- Sunlight readable color QVGA display (320x240 pixels).
- Measure Modes - Pulse-Echo, Echo-Echo, Echo-Echo-Verify (triple echo).
- Auto Correlation - Transducer Placement.
- Custom auto calibration feature.
- 4GB internal & up to 64GB external SD memory.
- USB 1.1 connectivity.
- Analog, serial & alarm outputs.
- PC interface reporting software.
- Import & export files - between Max II and Mini-Max.
- Li-Ion pack & 6 AA emergency battery backup option.
- 2 year warranty.



10. 국내 적용 사례

[원자력, 화력발전소]





자동차 제동장치

10. 국내 적용 사례 – 교량

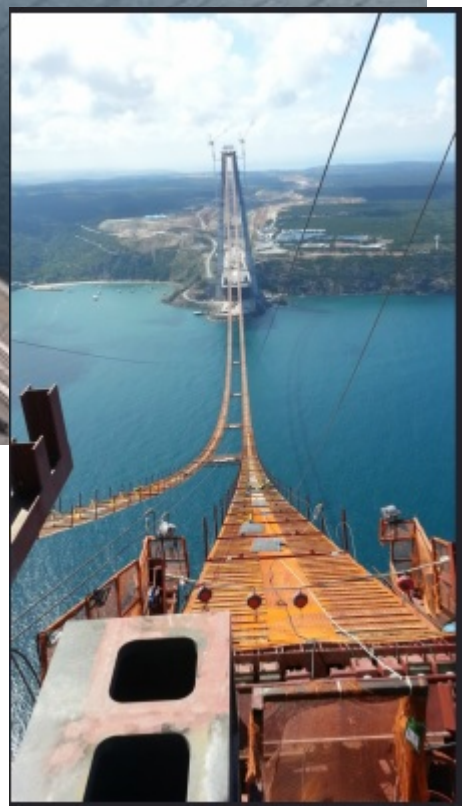
이순신 대교

진도 연륙교

울산 대교

10. 국내 적용 사례 – 해외 교량 건설 공사

터키 보스포루스 해협 : 3번째 유럽과 아시아를 잇는 현수교 공사 (SK & 현대건설)



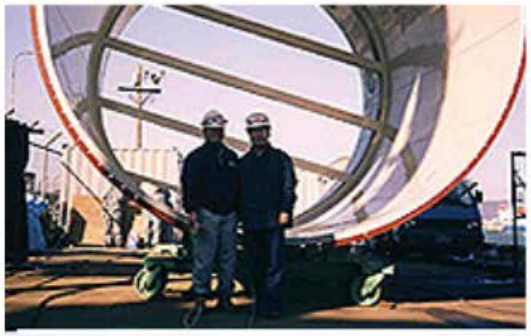
10. 국내 적용 사례 – 건설 중기계 적용

10. 국내 적용 사례 – 화공 플랜트 제작사 활용

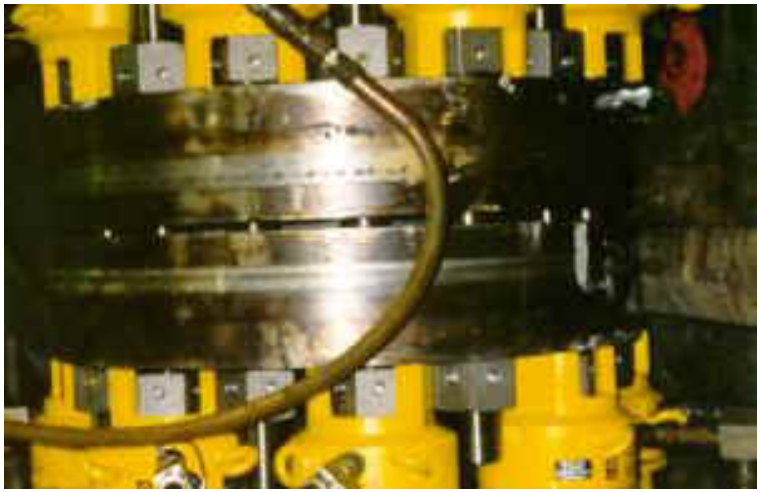
화공PLANT 환경을 먼저 생각하는 기업, 제일E&S주식회사

풍부한 경험과 앞서가는 기술

혁신적이고 효율적인 설비를 제공



Flange Applications



Aerospace Applications

- Lockheed Martin/Boeing – Turret 575 (Final Starwars project)
  - Attached a turret to the front of a 747. The turret held the gun portion of the chemical laser.
  - Dakota Ultrasonics MAX was used to accurately monitor the load in turret bolts.

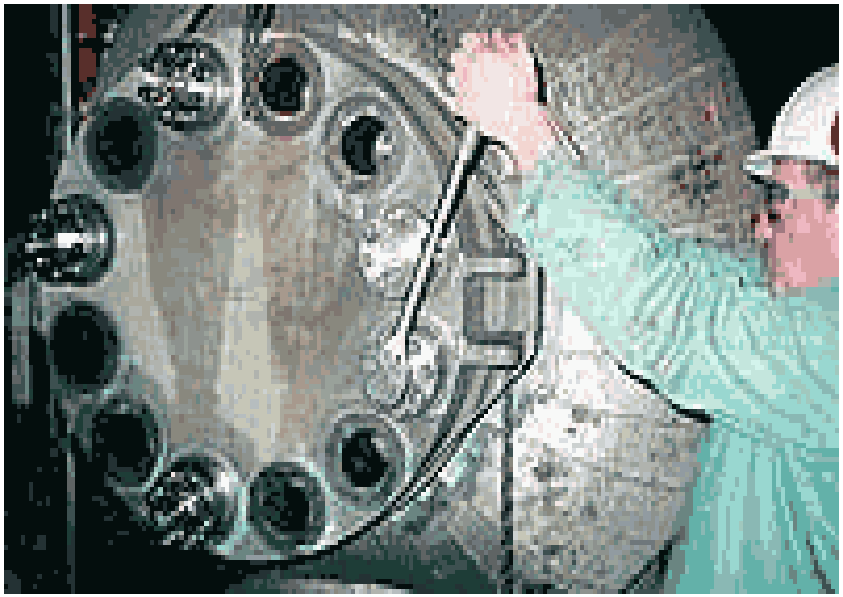
Aerospace Applications

NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html
NASA Photo: EC02-0131-10 Date: June 28, 2002 Photo by: Jim Ross
The Space Shuttle Endeavour, mounted securely atop one of NASA's modified Boeing 747 Shuttle Carrier Aircraft,
left NASA's Dryden Flight Research Center at Edwards Air Force Base in Southern California at sunrise on Friday, June 28.

NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html
NASA Photo: EC02-0131-9 Date: June 28, 2002 Photo by: Carla Thomas
The Space Shuttle Endeavour, mounted securely atop one of NASA's modified Boeing 747 Shuttle Carrier Aircraft,
left NASA's Dryden Flight Research Center at Edwards Air Force Base in Southern California at sunrise on Friday, June 28.

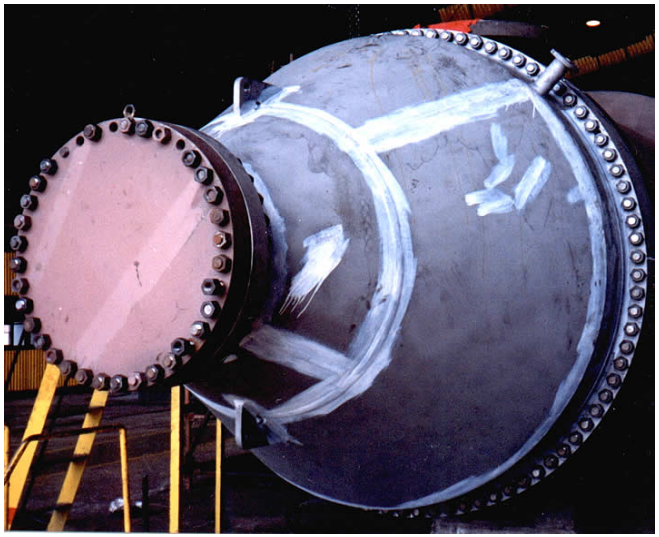
- NASA space shuttle – Was fastened to the back of a 747 for transportation back to Florida.
  - Mini-Max was used on the shuttle prior to take off and during this transportation phase.

Power Generation Applications



- Picture A – Boiler Feed Pump
- Picture B – High Pressure Feed Water Heater

Power Generation Applications

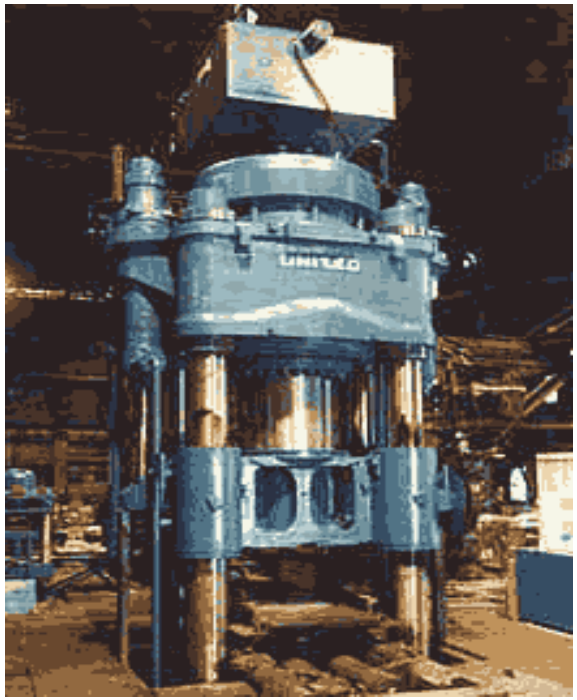


- Picture A – Pressure Vessel
- Picture B – Steam Turbine Inlet Flange

Hydro Power Applications

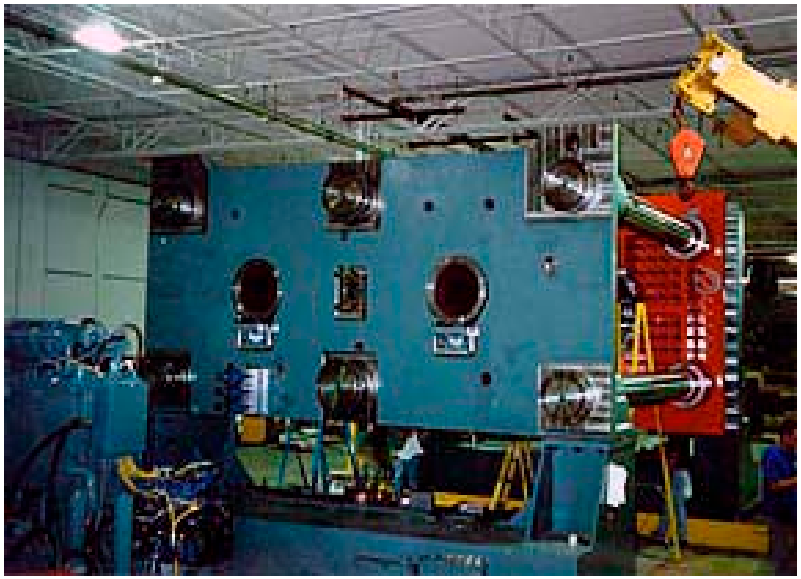
- Picture A - Nozzle on Pelton Turbines
- Picture B – Turbine Coupling

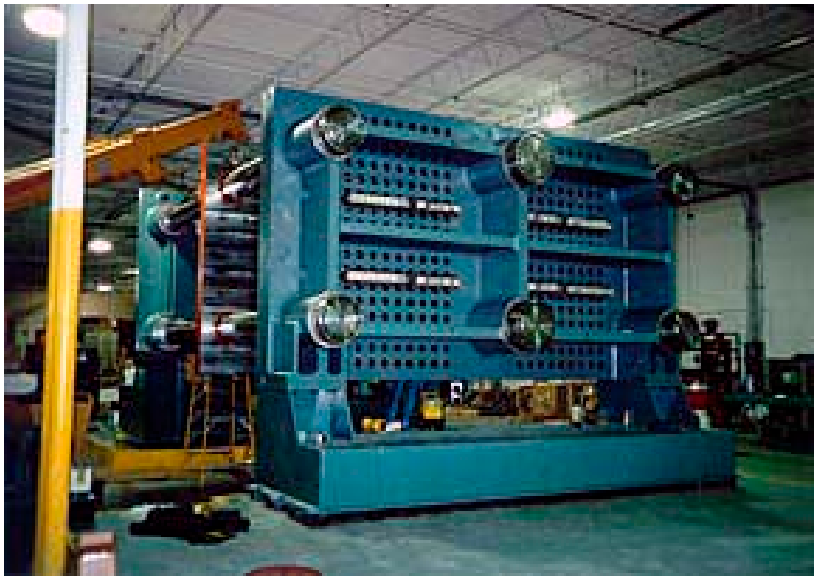
Press Applications



- Picture A & B – Forging Presses (5,000 ton)

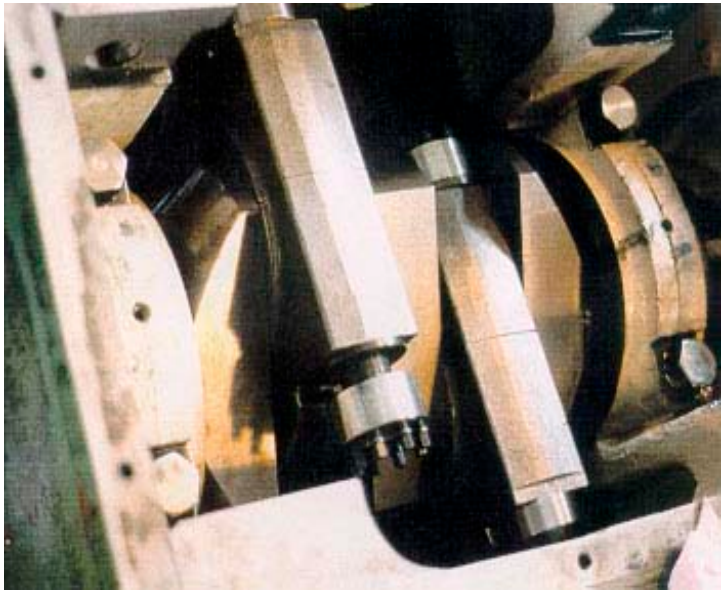
Press Applications





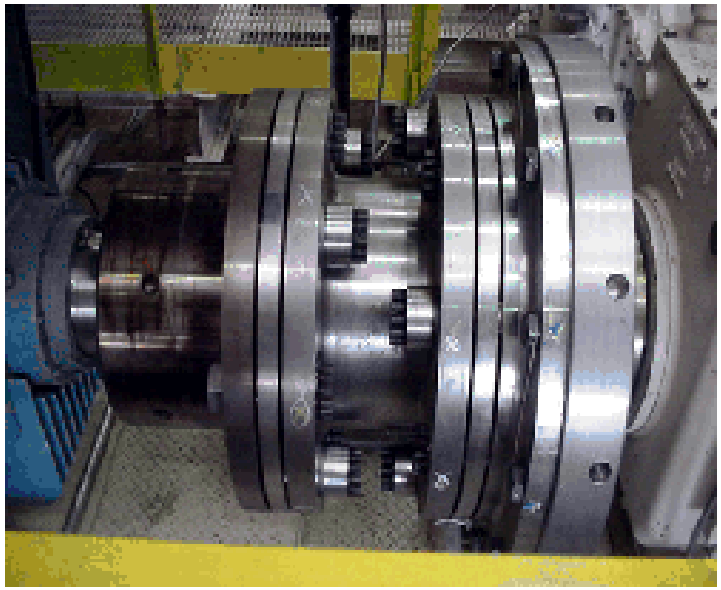
- Picture A & B – Foam Injection Molding Presses

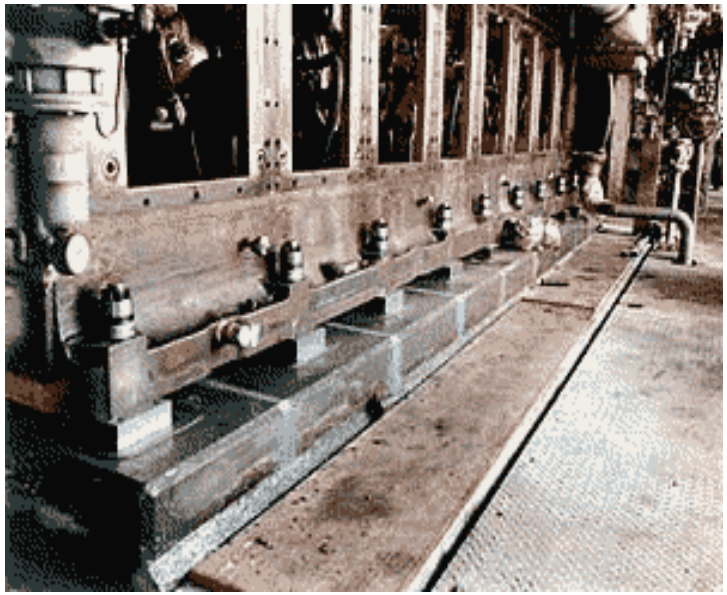
Compressor Applications



- Picture A – Connecting Rod bolts
- Picture B – Anchor Bolts

Compressor Applications



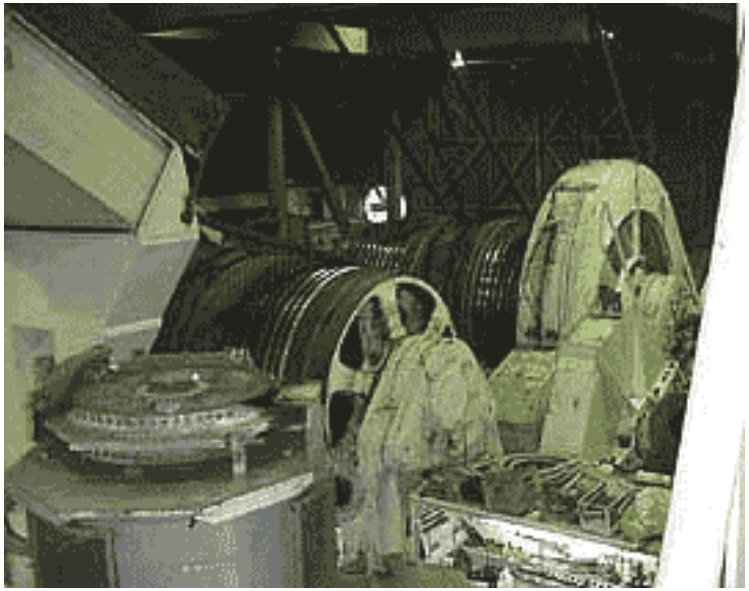


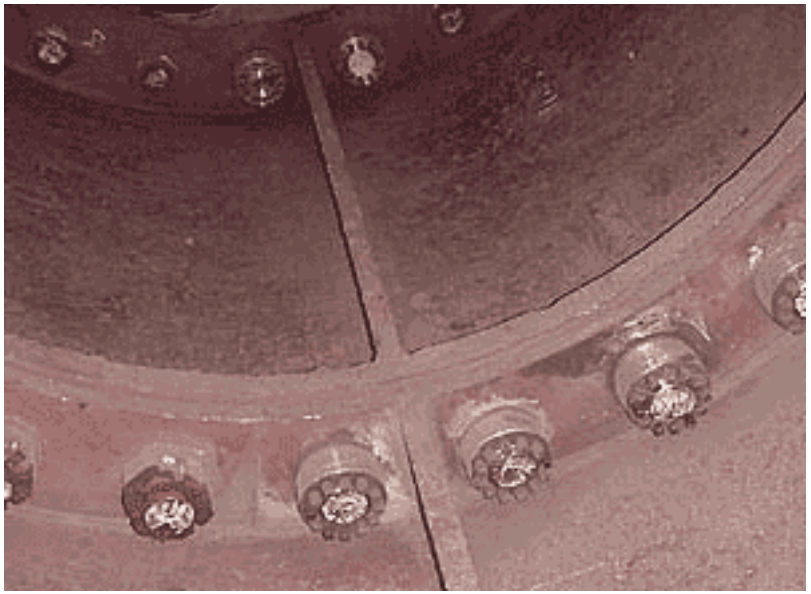
- Picture A - Centrifugal Compressor
- Picture B – Anchor Bolts

Mining applications

- Picture A – Power Shovel
- Picture B – Dragline

Mining applications





- Picture A – Dragline Drums to raise hoist
- Picture B – Dragline Drum

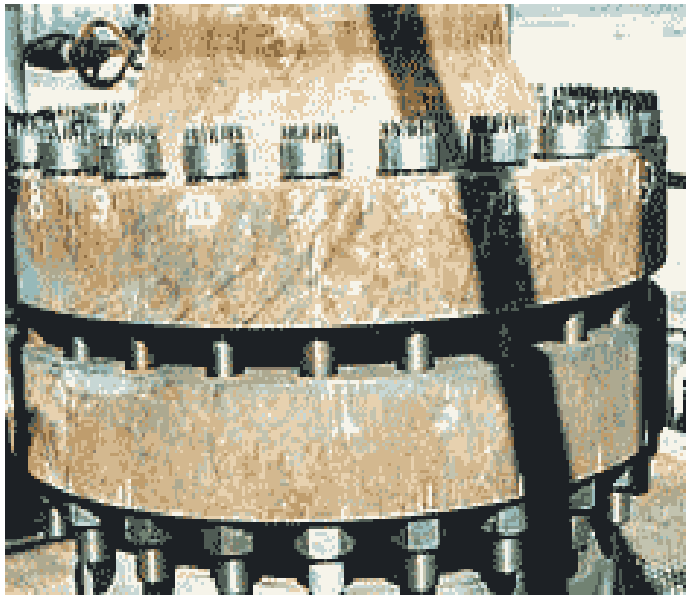
Mining applications

- Picture A – Split gear on cement klin
- Picture B – Gyratory crusher

Petrochemical applications

- Pictures A & B – Heat Exchangers

Petrochemical applications



- Picture A – Reactor Cover
- Picture B – Dehydration Tower

고객의 가치를 최 우선으로 생각하는 기업

감사합니다.

기술, 교육 문의 : 재신정보 대표 한 정규
[support@jsdata.co.kr]