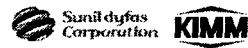


# 다단 냉간 단조공정에 비조질강 적용

이승현<sup>1)</sup> 권용남<sup>2)</sup> 이교택<sup>1)</sup> 김지훈<sup>1)</sup>  
김상우<sup>2)</sup> 이영선<sup>2)</sup> 이정환<sup>2)</sup>

1) 선일다이파스  
2) 한국기계연구원 소재성형연구센터



## 회사연혁 및 수상연혁

시작기

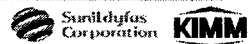
- 76.9 선경그룹에서 선경기계㈜ 설립 - 경기도 성남시
- 78.2 자동차용 볼트 생산, 납품 시작
- 83.9 선경그룹에서 분리 선일기계㈜ 법인 설립
- 85.9 일본 온도 (音戸) 공작소와 자동차용 냉간단조 제조 기술제휴
- 86.9 현대자동차㈜ 품질관리 1등급 획득 (열처리, 도금)

성장기

- 88.2 일본 ASAHI SUNAC과 설비제작 기술제휴
- 88.10 선일기계㈜ 부설 연구소 설립
- 93.4 일본 도요다(자) 협력사 미즈노 (水野) 철공소와 품질향상 지도 계약
- 94.5 현대자동차㈜ 공장 1등급 획득, 100PPM 획득
- 96.4 독일 KAMAX사와 기술협력 제휴
- 96.5 100PPM 대통령상 수상
- 97.9 ISO-9002 인증 획득 (중소기업 인증 센터)
- 99.4 QS-9000 인증 획득 (DNV)

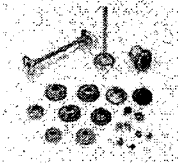
도약기

- 00.4 인천공장 2단계 완공, 벤처기업 인증 획득
- 02.11 수출 1,000만불 달성 수상
- 03.6 ISO-14001 인증 획득(KMAQA)
- 03.10 선일기계㈜에서 ㈜선일DYFAS로 사명 변경
- 04.7 TD16949인증 획득(DNV)
- 04.9 미래경영부분 대상수상(생산성 본부)
- 04.10 네덜란드 NEDSCHROEF사와 기술협력 제휴
- 05.3 중국 천진 공장 설립



**주요생산품목**

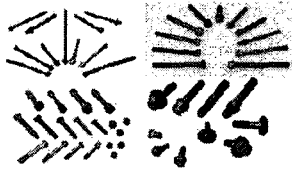
**Cold Forged Parts**



(Front Boss, Cotter, R.V.S Output Rod)

**Engine Parts**

(Cylinder, Con-rod, Brg. Cap, Fly-wheel)



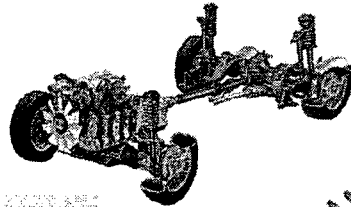
**Chassis Parts**

(Door hinge, TieRod, Cam, seat, etc.)



**Wheel & Brake Parts**

(Hub Bolt & Nut, Guide Rod, Damper Bolt)



**주요생산공정**

設備: 2台  
Capa.: 1,550ton/月



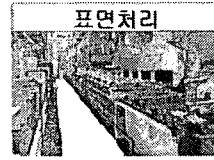
출하



검사 및 포장



設備: 32台  
Capa.: 70백만個 / 月

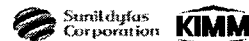


設備: 아연도금 4機  
피막 1機  
Capa.: 1,600ton/月

設備: 54台  
Capa.: 76 백만個 / 月



設備: 연속로 3機  
Unicase爐 等  
Capa.: 1,400ton/月

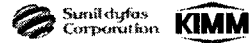
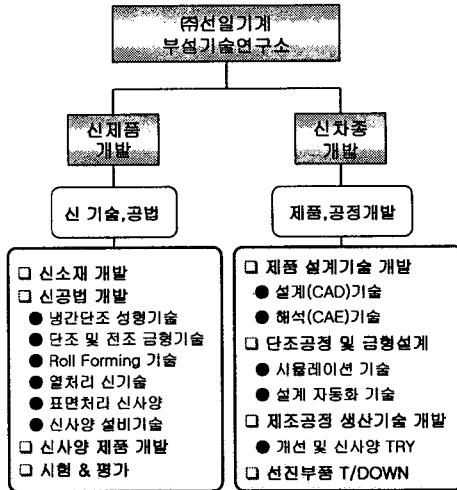


## 기술연구소 연혁 & 조직

### 연혁

- 1989. 10 기업부설연구소설립 인정 (과학기술저산하 산업기술진흥협회)
- 1989. 11 볼트가공장치용 로링 불량검출장치 개발 (실용신안등록 제067288호)
- 1990. 4 나사기술총람 발간 (산학협동:아주대)
- 1992. 8 시험실 깊이분야 자율교정 업체승인 획득
- 1995. 2 세라믹과 메탈결합을 이용한 디젤엔진용 세라믹 Tappet 개발
- 1996. 4 항공기용 Bolt 개발
- 1997. 10 Bolt 공정 및 금형 설계 시스템 구축
- 1998. 12 T.T.F (Torque Tension control Fluid) 개발
- 1999. 7 Front Boss 내경 인발류선기어 냉간화 개발
- 2000. 4 Cotter Multi Forming 성형방법 개발
- 2001. 11 Fe/ZnNi 도금 사양 제조 공법 개발
- 2002. 9 Free Cr 표면처리 사양 개발 (매그니, 3가Cr)
- 2002. 12 자동차용 R.V.S Former 제조공법 개발

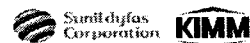
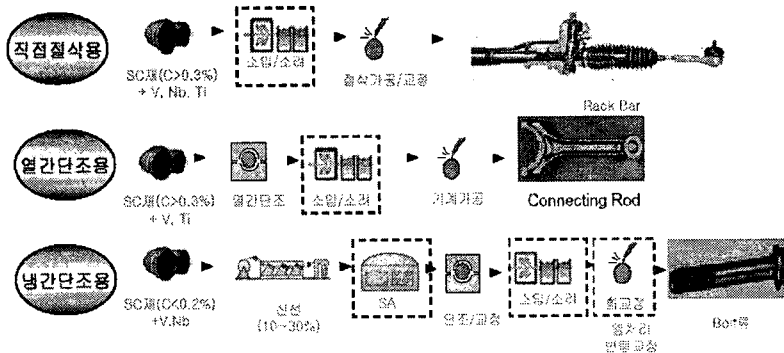
### 조직 및 업무



## 비조질강 개요

비조질강 (非調質鋼) 이란 調質열처리(Quenching & Tempering, 소입소려)를 하지 않는 기계구조부품용 강으로써, 합금설계 변경 및 제어암연/제어냉각에 의해 종래 조질처리하여 사용하던 중탄소강을 대체할 목적으로 개발됨 (1972년, 독일 Thyssen 최초개발)

### 비조질강의 종류 및 적용



## 기술개발의 필요성

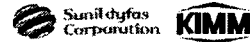
### 비조질강 성형 기술

- 열처리 생략 친환경 공정
  - 기존 공정 : 구상화 소둔 / 조질처리
  - 비조질강 : 2개 공정 생략
    - 에너지 사용 대폭 절감
    - 환경유해물질 대폭 감소
- 열처리 변형 제어
  - 기존 공정 : 조질 열처리후 변형 발생
    - 높은 불량률
    - 반환경적 공정
    - 낮은 경제성
  - 비조질강 : 조질 열처리 생략
    - 가늘고 긴 제품 생산 가능
    - 낮은 불량률
    - 높은 경제성

### 개발 요구 기술

- 냉간압조용 소재 제조 기술
- 성형 공정 최적화 기술
- 최적 금형 설계 기술
- 성형품 신뢰성 평가 기술

비조질강 제품  
실용화

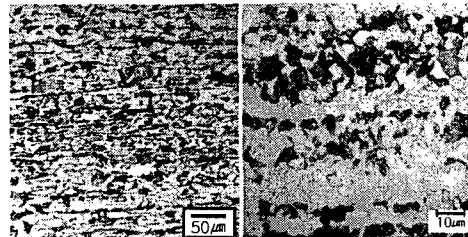


## 비조질강 소재 특성

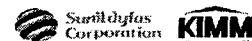
### 1. 강종별 성분 조성

(wt.%)

강종	C	Si	Mn	Cr	Al	V	Mo
NHF540S	0.22	0.24	0.89	-	0.02	-	-
SHCW80B	0.15	0.12	1.52	0.35	0.02	0.16	-
SCM435	0.34	0.20	0.72	1.04	-	-	0.19
SWRCH45K	0.45	0.20	0.75	0.14	-	-	-



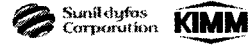
비조질강 2종은 조질강 대비 저탄소를 가지는 합금강임을 알수 있으며 모든 합금은 페라이트와 세멘타이트상으로 구성된 이상조직을 나타냄



2. 강종별 기계적 성질

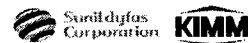
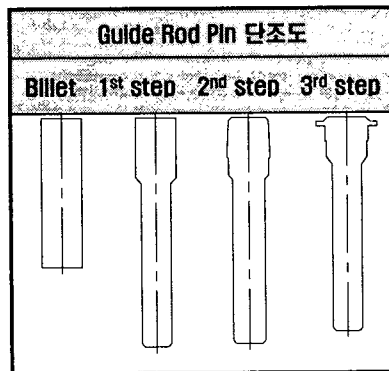
강 종	NHF540S	SHCW80B	SCM435	SWRCH45K
T/S(Kg/mm <sup>2</sup> )	66.8	83.9	63.0	61.1
경도(HRB)	93.6	96.0	97.3	96.6
연신율(%)	11.8	15.5	16.2	13.2
K(Mpa)	881	886	873	795
n	0.11	0.063	0.14	0.12

비조질강 소재 2종이 소재 상태의 T/S와 강성지수 K값이 조질강 대비 높음을 알 수 있고 연신을 및 가공경화지수 n값은 낮게 나타난다 따라서 비조질강의 성형성이 조질강 대비 낮은 수준임을 확인 할 수 있다.

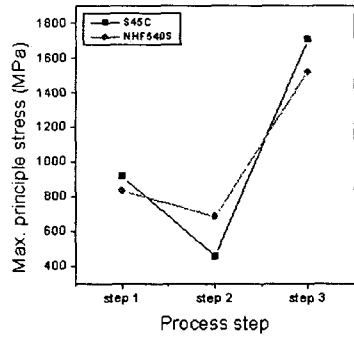


단조 성형성 및 금형응력 해석

- 대상제품 : Guide Rod Pin (Brake Caliper용)
- 대상소재 : NHF540S (냉간단조용 비조질강), SWRCH45K (냉간단조용 조질강)
- 해석방법 : 성형단계별 금형 부하응력해석 및 실제품 성형시 설비 부하측정



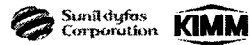
2. 성형단계별 금형응력



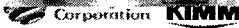
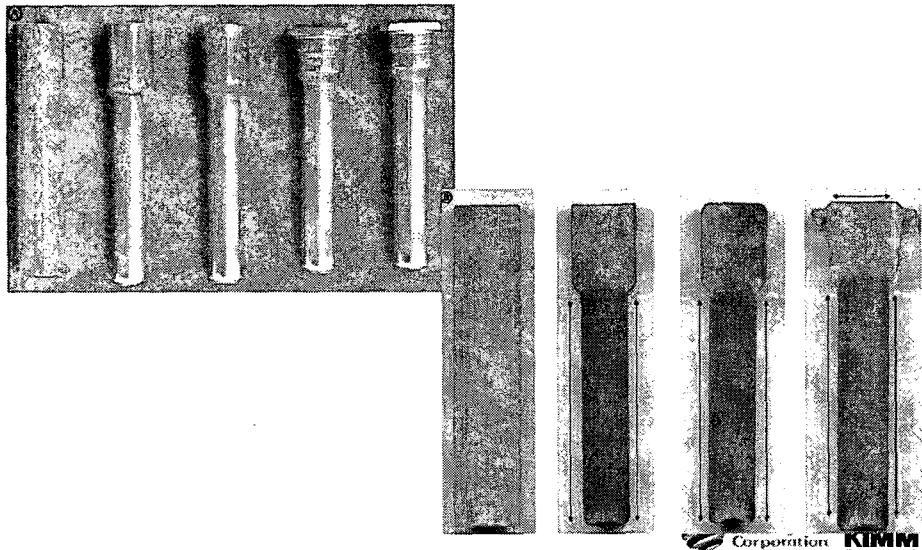
3. 강종별 성형시 설비부하

구분	SHCW80B	SCM435(SA)
설비부하(A)	45A~62A	45A~55A

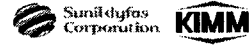
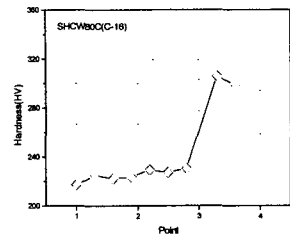
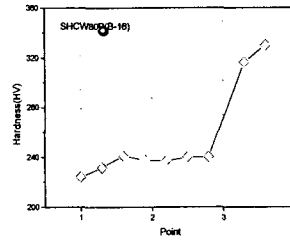
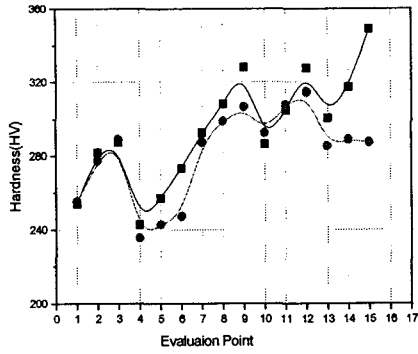
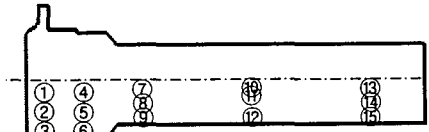
성형압이 높은 단계에서는 금형부하 응력이 조질강 대비 비조질강이 낮게 나타나고 성형압이 적은 단계에서는 반대의 현상이 나타남을 알 수 있다. 즉 단조공정의 단계별로 유동특성의 차이가 발생하며 이때 금형에 걸리는 부하는 달라진다. 따라서 적절한 단조 공정 설계가 이루어질 경우 금형에 미치는 부하는 조질강과 동등한 수준으로 제어 할 수 있음을 확인 할 수 있다. 실제 제품 성형시 설비에 미치는 부하는 비조질강 성형시 다소 높게 나타나고 있음을 알 수 있다



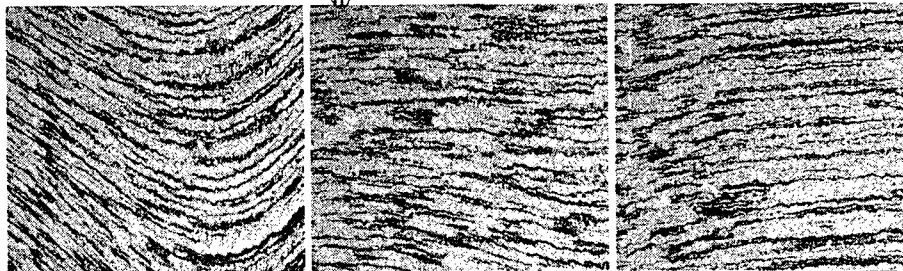
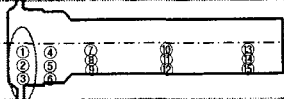
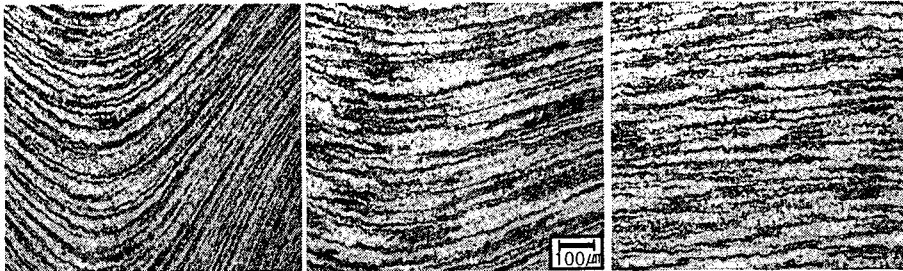
냉간단조 시험



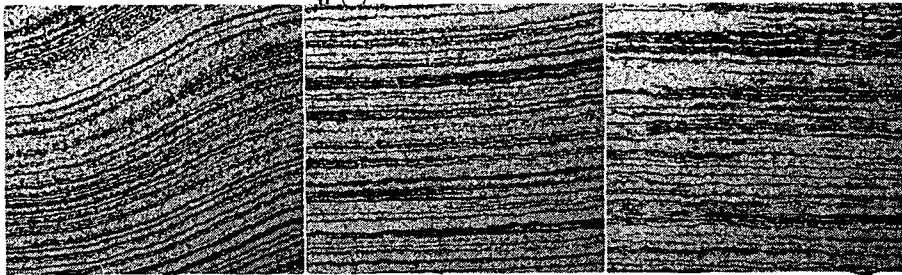
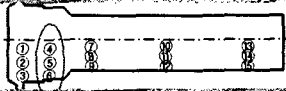
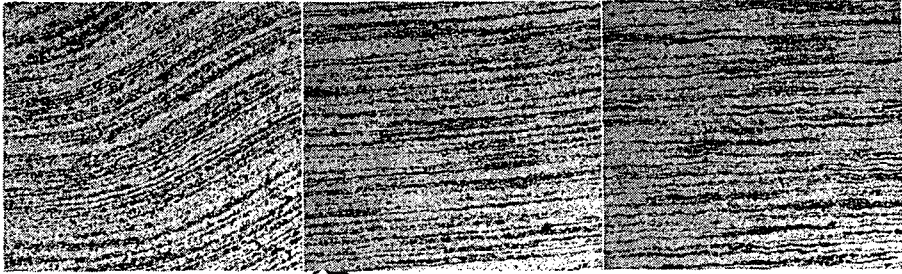
부위별 경도 분포



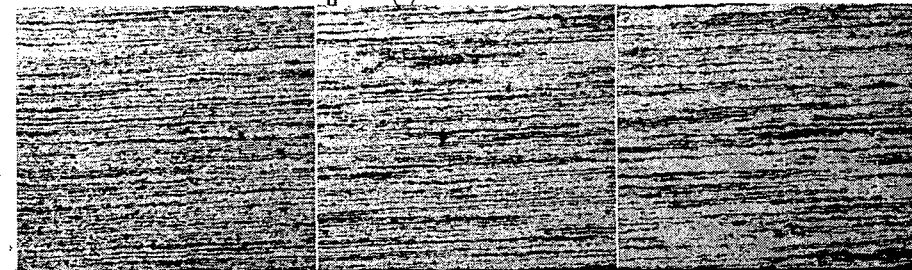
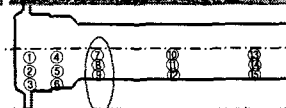
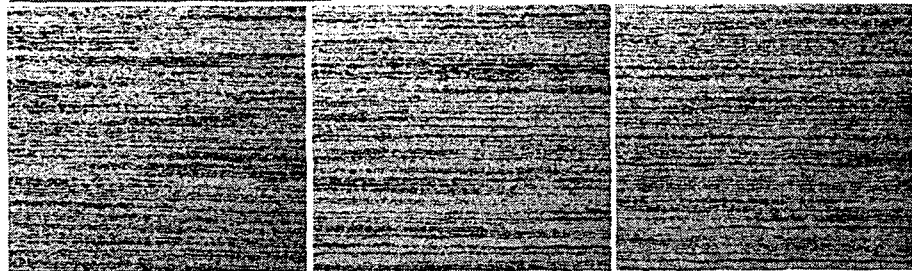
부위별 미세조직



부위별 미세조직



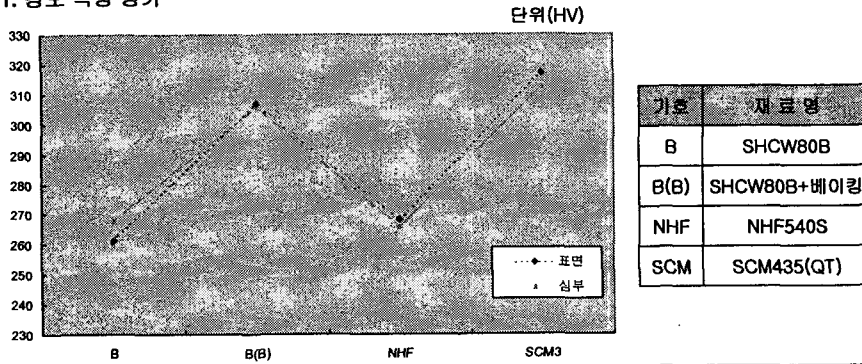
부위별 미세조직



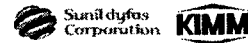


## 비조질강 제품 특성 평가

### 1. 경도 특성 평가



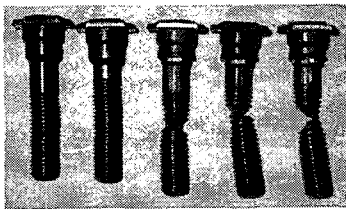
시제품의 위치별 경도는 비조질강 SHCW80B의 경우 표면과 심부의 편차가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 성형시 부위별 가공경화량의 차이에서 기인하는 것으로 공정 설계시 주의를 요하는 사항이다. 그러나 베이킹 처리를 실시한 제품에서 경도는 15%정도 증가하며 표면과 심부의 경도 편차는 감소함을 알 수 있다. 따라서 제품에 비조질강의 적용성을 고려할 때 경도편차에 대한 사전 검토가 충분히 이루어져야 할 것으로 판단된다.



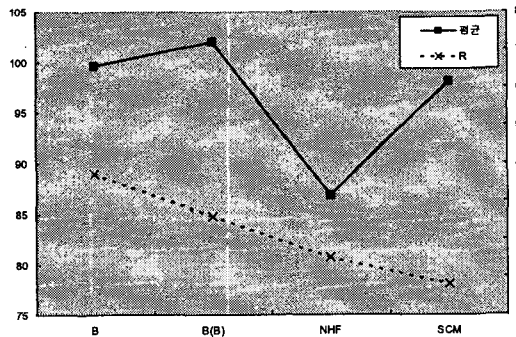
### 2. 인장강도 특성 평가

#### 2-1. 측정 방법

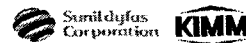
나사 성형 후 4\*뿔가JIG 시험 실시



#### 2-2. 측정 결과



비조질강으로 제조된 제품의 인장강도 특성을 보면 90kgf/mm<sup>2</sup>을 상회함을 알 수 있고 이때 인장강도의 산포는 3.7수준으로 조질강 대비 5배정도 높게 나타나고 있다. 그러나 베이킹 처리시 인장강도는 3% 증가하고 산포는 30% 감소함을 알 수 있으며, 또한 NHF540S의 경우 산포가 1.5수준으로 조질강 대비 2배 정도의 산포로 매우 안정됨을 알 수 있다.



### 3. 피로 특성 평가

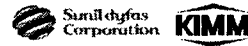
#### 3-1. 시험조건

- 1) M12X1.75P 나사를 성형후 축방향의 인장피로 시험
- 2) 자기공명식 피로시험기 사용
- 3) 시험기준은 KSB 0247에 의거한 무한피로시험 <S-N 선도의 도식화>
- 4) 20~25개의 시료로 평균응력값(650MPa)을 일정하게 유지하여 응력진폭을 단계적으로 변경 실시

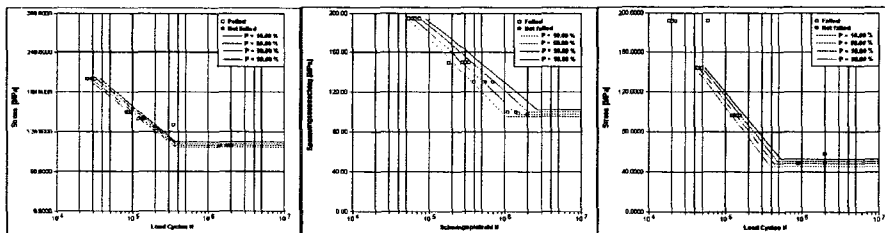
#### 3-2. 시험결과

SHCW80B(베이킹)    SHCW80B    SCM435(Q/T)

Probability of failure	IABG	IABG	IABG
PB(10.0%) = $X_m - 1.282 \cdot s$ MPa	97.4465	95.44	54.44
PB(50.0%) = $X_m$ MPa	100.0100	98.00	57.00
PB(90.0%) = $X_m + 1.282 \cdot s$ MPa	102.5735	100.56	59.56
PB(99.0%) = $X_m + 2.327 \cdot s$ MPa	104.6636	102.65	61.65



#### 3-2. 시험결과 <S-N선도>

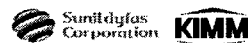


SHCW80B(베이킹)

SHCW80B

SCM435(QT)

SHCW80B소재로 제조된 GUIDEROD PIN 중 385℃의 베이킹처리한 제품, SHCW80B소재로 제조된 제품과 SCM435소재로 Q/T처리한 제품의 피로시험을 실시한 결과 <표1>과 같이 SHCW80B(베이킹)소재의 피로강도 97.4MPa ~ 104.7MPa, SHCW80B 소재제품의 피로강도 95.4MPa ~ 102.6MPa, SCM435소재의 피로강도 54.4MPa ~ 61.6MPa의 피로강도를 나타냄을 알 수 있다. 이는 양 소재의 인장강도 차 4Kg/mm<sup>2</sup>(SHCW80B:102Kg/mm<sup>2</sup>, SCM435:98Kg/mm<sup>2</sup>)과 동일수준의 차로 판단된다. 따라서 SHCW80B(베이킹) 소재의 피로강도가 조질강 대비 동등함을 알 수 있다. 베이킹 처리하지 않은 제품의 피로강도는 베이킹처리한 소재대비 유사함을 나타내고 있으며, 이는 인장강도차 대비 피로강도가 비례하지 않음을 나타내고 있다. 향후 이에 대한 연구를 통하여 베이킹처리의 영향도 분석이 필요 할 것으로 사료된다.



## 결론

본 연구에서는 에너지 절감을 위해 기존의 조질강을 대신하기 위해 개발된 냉간단조용 비조질강의 기본적인 물성을 평가하기 위하여 실제 단조품을 대상으로 냉간 단조시험을 실시한 후 각종 기계적인 시험을 실시함으로써 냉간 비조질강의 적용 가능성을 평가하였다. 전반적으로 기계적인 물성은 기존 조질강을 대체할 수 있는 수준을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 비조질강 사용시 금형에 걸리는 부하도 단조 공정 설계의 최적화 과정을 통해 조절할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부 청정생산기술사업 “차세대 환경친화형 고강도 냉간 비조질강 제품 개발”사업의 지원에 의해 가능하였으며 이에 감사 드립니다.

