

# NPPN의 특징과 응용

문경일 · 조용기 · 김상권 · 김성완

한국생산기술원 생산기반본부 플라즈마응용팀

## Characteristics and Applications of NPPN Process

Kyung Il Moon, Yong Ki Cho, Sang Gweon Kim, Sung Wan Kim

Plasma Enhanced Technology Development Team, Production Technology Center, KITECH

### 1. 서 론

NPPN 질화기술은 2003년도 한국생산기술연구원에서 개발한 새로운 질화기술로 표면조도의 변화가 거의 없고 화합물의 생성을 억제 가능한 신열처리기술이다. NPPN에서는 전자를 분리시켜 주로 이온 분위기에서 질화하는 기술로서 표면 활성화 반응을 통한 화합물층 형성 제어 및 확산 속도 조절을 통해 신속질화가 가능하다. 특히, 이온 플레이팅의 하지층으로서 복합경화처리하면 금형, 공구, 기계 부품의 밀착력 및 내구성이 향상된다. 본 고에서는 현재 일본에서 널리 사용되고 있는 라디칼 질화와 비교하여 NPPN의 특징과 응용 예를 소개하고자 한다.

### 2. NPPN 질화

그림 1은 NPPN의 내부 구조도를 보여주는 그림

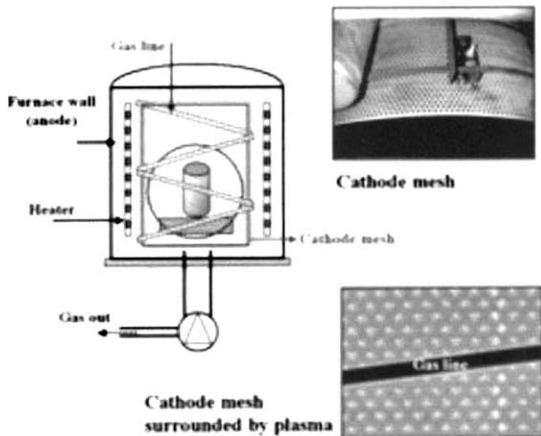


Fig. 1. Schematic diagram of NPPN furnace.

이다. NPPN은 "New Post Plasma Nitriding"의 약자로서 이온질화의 단점을 개선하고자 시편 외부에 일정한 크기의 원통형 망을 설치한 후 여기에 플라즈마를 발생시키는 포스트 플라즈마 원리를 이용하여 개발한 질화 기술이다.

NPPN은 종래의 이온질화와 달리 용기 내에 설치된 스크린이 음극으로 되어있고 용기 벽이 양극으로 되어있어 피처리물은 중성 또는 약한 음극으로 구성 되어 있다. 따라서 전기를 인가시켜 음극에서 발생된 전자는 바로 로벽으로 이동하게 되므로 피가열체는 주로 이온으로 덮혀 있게 되어 전자의 영향을 거의 받지 않게 된다. 플라즈마 형성 망이 피가열체 주위를 둘러싸고 있으므로 온도 균일도가 높으며 망에 형성된 플라즈마에 의한 HCD(Hallow Cathode Discharge)효과에 의해 에너지 밀도가 높다. 특히, 플라즈마를 통과한 활성화 이온 또는 라디칼들이 가스 와 같은 거동을 보임으로 질소 가스를 사용한다는 플라즈마 질화의 장점과 가스 질화의 장점을 동시에 얻을 수 있다. NPPN의 대표적인 특징은 다음과 같다.

- \* 피처리물에 아킹의 발생 염려가 없어 장입이 용이하며 생산성이 높다.
- \* 스퍼터링 현상이 없어 표면조도의 변화가 없다.
- \* 온도분포가 이온질화시 보다 균일하다.
- \* 화합물층 생성의 제어가 용이하다.

NPPN 기술의 우수성과 비교될 수 있는 기술인 라디칼 질화방법은 수미토모사 중앙연구소와 일본전자공업이 개발한 질화 기술이다[1]. 그림 2-1에서처럼 암모니아와 수소를 혼합한 가스분위기중에 시편에 직류를 가해 그로우방전을 일으킴으로써 활성도가 큰

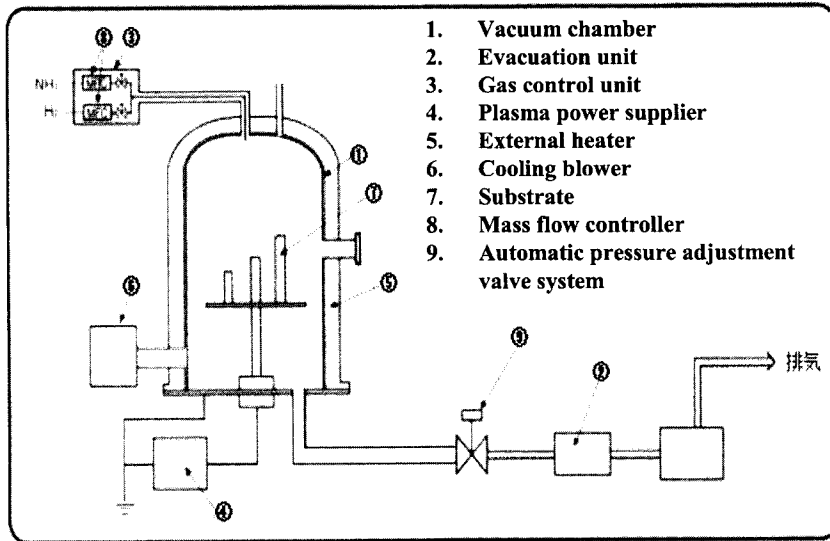


Fig. 2. Schematic drawing of Radical Nitriding equipment.

암모니아기 라디칼을 만들어 질화하는 기술이다. 라디칼 질화는 기존 질화에 비해 화합물층이 없는 질화가 가능하다는 장점이 있으나 역시 암모니아 사용에 따른 어려움과 이온에 의한 스퍼터링 효과를 최소화 할 수 있는 최적조건을 찾아내는데 어려움이 있다. 따라서, 표면조도가 우수하다고 하나 Ra 기준으로  $0.05 \mu\text{m}$  이하의 표면 조도를 얻는 것은 어렵다.

NPPN의 경우 암모니아를 사용하지 않고 질소를 사용함으로 취급이 용이하고 스퍼터링 효과가 없으므로 조도변화는 거의 없다( $Ra < 0.02 \mu\text{m}$ ). 또한 진공 프라즈마중 에너지 캐리어인 전자를 이온과 분리시켜 사용함으로 용기내의 온도균일도가 높고 아크문제가 없어 장입이 쉽고 생산성이 높다. 한편 스퍼터링 공정이 없어 표면의 산화물이나 오염물 제거와 활성화 처리를 위한 별도의 전처리 기술이 개발되었다. 그 대표적인 기술이 산화, 환원처리와 bias NPPN 기술이다.

STD 11, STD 61, SKH 51종과 같은 고 Cr 장의 경우, 적절한 산화, 환원처리로서 높은 활성화 정도를 얻을 수 있었으며 이후 NPPN 처리시 우수한 결과를 얻을 수 있다[2]. 일반 탄소강과 SUS의 경우, 산화, 환원처리를 통해 충분한 표면 활성화를 얻지 못하거나, 너무 두꺼운 산화막 형성에 의하여

NPPN 처리를 통해 좋은 결과를 얻을 수 없었다. 이를 개선하기 위하여 개발된 공정이 bias NPPN 공정으로서, 이 방법은 시편에 적당한 전압을 걸어서 NPPN의 질화능을 향상시킨 공정이다. 이 방법을 통해 탄소강 및 SUS의 질화는 물론, STD 11, STD 61, SKH 51종에 대해서도 화합물층과 질화층 두께를 보다 용이하게 조절할 수 있다.

그림 3은 NPPN 질화처리한 STD 61종의 현미경 조적과 질화 시간에 따른 경화층 변화를 보여준다. STD 61종의 경우 2시간 질화처리를 통해 화합물층 없이  $50 \mu\text{m}$  이상의 경화층을 얻을 수 있었으며 20시간 처리를 통해 화합물층 없이  $200 \mu\text{m}$  이상의 경화층을 얻을 수 있었다. 또한 질화 시간에 관계없이 표면조도를  $Ra < 0.02 \mu\text{m}$ 를 유지되었다.

SUS의 경우, 내식성의 감소 없는 질화 기술이 중요시 되고 있는데 질화 후 내식성 감소의 원인은  $500^\circ\text{C}$  이상의 고온에서 형성되는 CrN에 기인한다. 따라서, CrN 층의 형성을 억제할 수 있는 온도에서 효과적으로 질화층을 형성시키는 것이 중요하다. 그림 4에서처럼 bias NPPN 처리시,  $450^\circ\text{C}$  이상에서 CrN 층의 형성이 관찰되었으나  $450^\circ\text{C}$  이하의 낮은 온도에서 CrN층의 형성없이 균일한 과포화 질화층을 얻을 수 있었다. 이러한 층을 일반적으로 S-phase(extended austenite phase)라 하는데 플라스

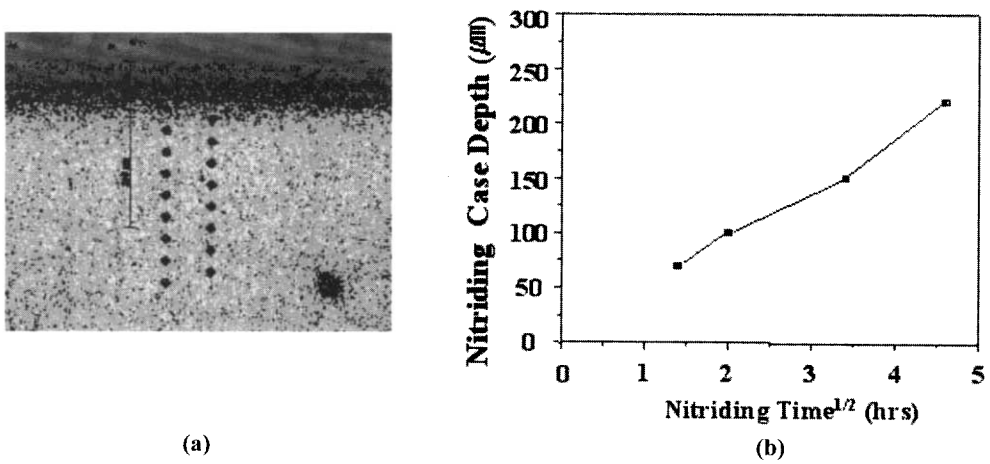


Fig. 3. (a) Optical micrograph of STD 61 specimens nitrided for 8 hrs at 540°C (b) Nitriding case depth of STD 61 with time at 560°C.

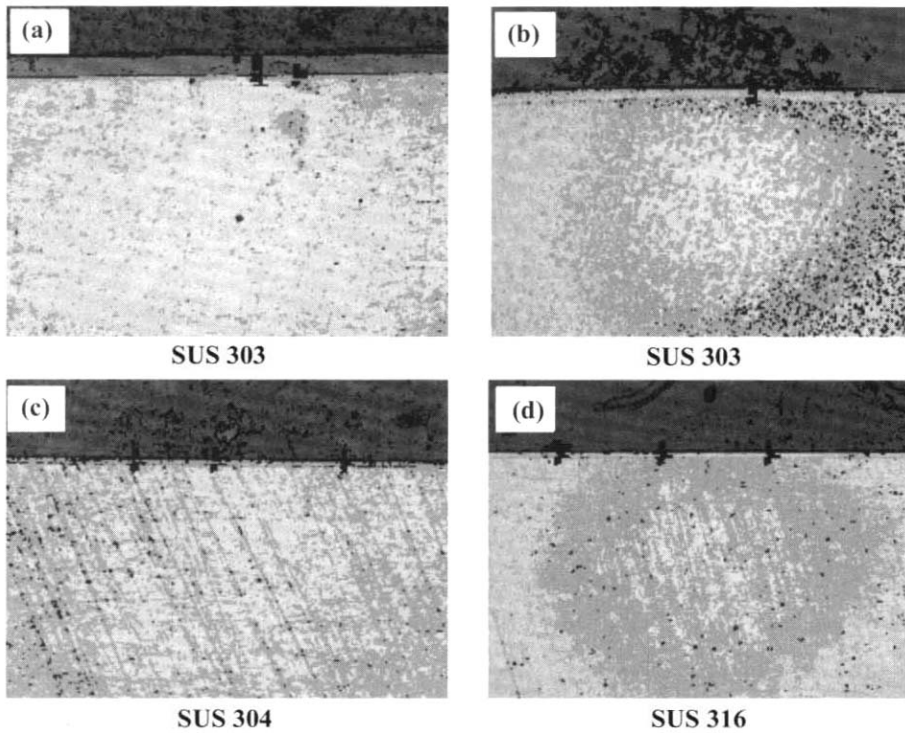


Fig. 4. Optical micrographs showing (a) a black CrN layer in SUS 303 and (b), (c), (d) the S-phase layer in the various SUS specimens prepared by bias NPPN.

마 질화 기술 중에서도 고급 기술에 속한다. NPPN의 장점인 낮은 온도에서도 균일한 온도 분포와 표면 조도 향상 등의 특성 때문에 균일하면서도 우수한 조도의 S-phase 질화층을 얻을 수 있다.

### 3. NPPN 질화 응용 예

그림 5는 NPPN을 이용한 대표적인 질화 처리 예를 보여 주는 사진으로서 다양한 크기와 형상의 시

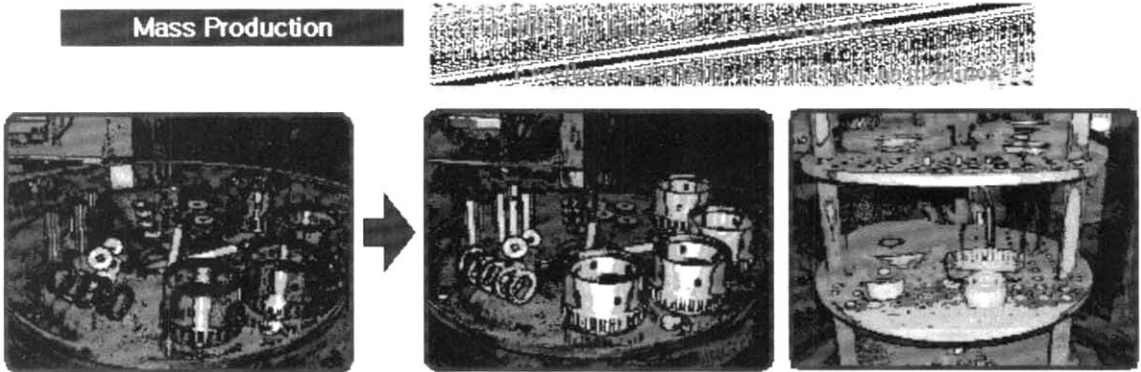


Fig. 5. Mass production in the NPPN furnace.

편이 동시에 균일하게 처리된 것을 확인할 수 있다. NPPN 질화 기술은 시편 자체에 글로우가 형성되지 않거나 그 정도가 작으므로 형상에 따른 제약이 작고 그에 따른 높은 충전율에 의해 기존 이온질화보다 3~5배의 생산성을 갖는다. 또한, 그림 6에서 보듯이 심한 부식으로 표면 상태가 안 좋은 시편에 대한 질화시도 우수한 표면 조도와 균일성이 관찰된다. 나쁜 조도의 시험편에 대한 NPPN시의 조도 향상 결과는 이온질화나 bias NPPN 된 시험편에 대한 추가적인 NPPN시에도 관찰된 결과로서 그 정량적인 결과와 원인에 대해서는 연구 중이다.

표 1은 다양한 시험편에 대한 NPPN과 bias NPPN시 얻어진 결과를 정리한 것이다. 그림 7, 8에 보여지듯이 화합물층의 형상을 조절할 수 있는 질화처리가 가능하며, 그에 따라 표면 경도와 조도의 변화를 관찰할 수 있다. 금형강인 STD 11과 STD 61종의 경우, 화합물층이 없을시 표면 경도 1000~1100  $H_{v0.1}$ 였으며 표면조도(Ra)가 0.010~0.020 사이의 매우 우

수한 값을 보였다. 이는 질화 후 추가적인 처리 없이 코팅과 같은 2차 처리가 가능함을 의미한다. 화합물층이 형성된 경우, 표면 경도가 1200~1300  $H_{v0.1}$  이상이었으며 화합물층 형성에 따라 표면조도는 0.050~0.150 사이에서 조절 가능하였다. 이는 기존 이온질화시 보다 우수한 조도 값이다.

탄소강의 경우 치밀한 산화물층 때문에 기존 NPPN 공정으로 충분한 두께의 질화층을 얻는 것이 어려웠다. 반면, 화합물층의 밀착력을 높일 수 있는 bias NPPN에 의하여 SCM 440의 경우, 표면 경도를 700~950  $H_{v0.1}$ , 화합물층 두께를 2~15  $\mu\text{m}$ 까지 다양하게 변화시킬 수 있어 화합물층 두께와 경도의 조절이 용이하였다. bias NPPN을 이용한 SUS의 처리시도 CrN층의 형성 유무에 따라 표면 경도를 800~1500  $H_{v0.1}$ 까지 조절할 수 있었다.

이 밖에 NPPN을 통해 얻을 수 있는 장점은 질화 후 산질화를 연속적으로 처리할 수 있다는 것, 질화 방지제 사용 없이 부분 질화 가능하다는 것,

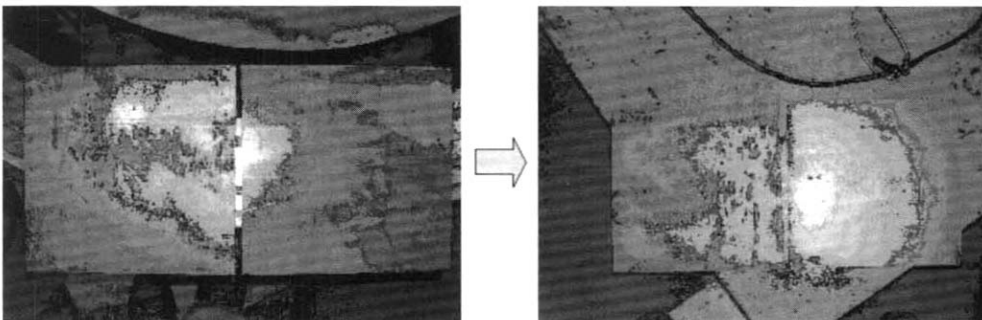


Fig. 6. Optical micrographs showing the effective nitriding of the corroded specimens using NPPN.

Table 1. The properties of the various steels prepared by NPPN

Specimen	NPPN time (hrs)	Surface hardness (H <sub>v0.1</sub> )	Case depth (mm)	The thickness of compound layer (μm)	Surface roughness(μm)
S20C	2~4	400~500	0.10~0.30	5~10	0.02 > for NPPN 0.20 > Ra > 0.05 for bias NPPN
S45C	2~4	500~650	0.10~0.30	5~10	
SPCC, SPHC	2~4	600~650	0.10~0.30	5~10	
SCM440	2~4	700~950	0.10~0.30	5~10	
SUS304	2~4	1100~1500	0.01~0.10	0~5	
SKD 11	2~4	1100~1400	0.05~0.20	0~5	
SKD 61	2~4	1100~1300	0.05~0.20	0~5	

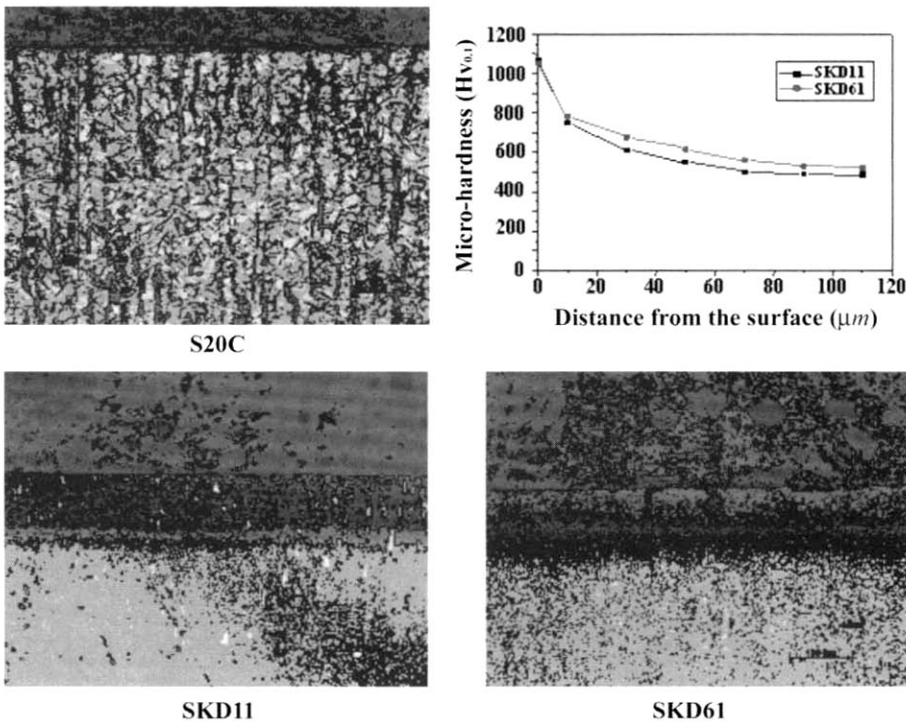


Fig. 7. Optical micrographs and microhardness profile of the specimens with no compound layer.

높은 균일성과 낮은 불량률 때문에 양산에 매우 적합하다는 것 등이다. NPPN을 적용시 수요자 측면에서 얻을 수 있는 장점은 다음과 같이 정리된다.

- 1) 처리 조건의 제어따라, 화합물층의 생성 유무의 선택, 질화 깊이의 조절이 쉬우며 균일성이 높은 질화 처리가 가능함  
→ 높은 정밀도와 복잡한 형상을 갖는 제품의 처리에 적합

- 2) 우수한 표면조도 때문에 후처리 없는 경질화 전 처리로서 유용함  
→ 복합 열처리시, 공정 단순화 가능
- 3) 이온질화의 높은 품질과 함께 가스 질화와 동등한 생산력  
→ 기존 이온질화에 비해 3~5배 높은 생산력
- 4) 미세 구멍, 슬리트 등에 대한 질화 처리
- 5) 가스 소비량 감소 및 처리 시간 단축 등을 통한 원가 감소

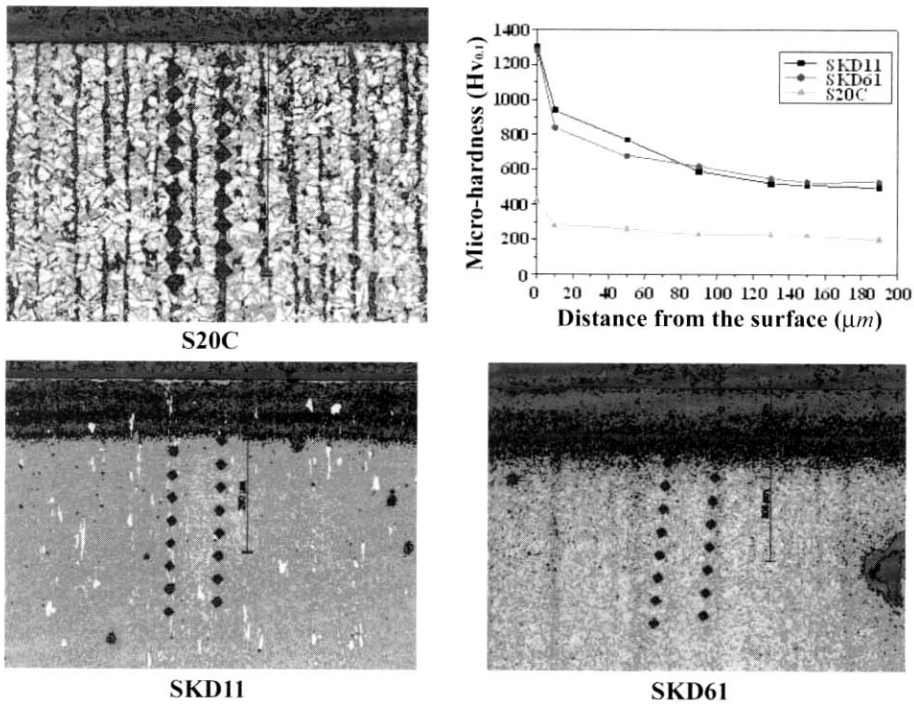


Fig. 8. Optical micrographs and micro-hardness profile of the specimens with compound layer.

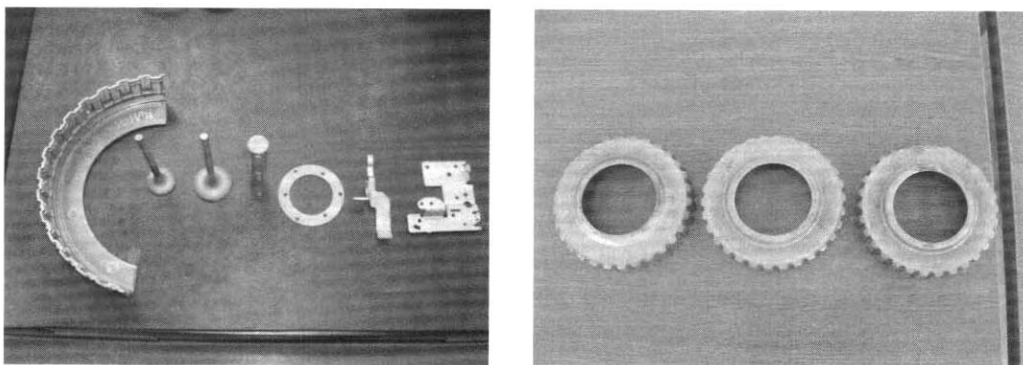


Fig. 9. Examples of the samples tested by NPPN.

6) 친환경적인 공정

이와 같은 뛰어난 질화 특성 때문에 실제 양산 시편의 적용에도 우수한 결과를 보인다. 그림 9는 NPPN 질화로를 이용해 처리된 다양한 부품들의 처리 결과를 보여주는 그림이다. NPPN은 아직 실용화된 지 얼마 되지 않은 공정이지만, 유사한 라디칼 질화 보다 우수한 질화 특성을 보여 라디칼 질화가 적용되는 모든 분야에도 적용이 가능할 것으로 기대

된다. 그 예로 수지성형용 마무리 가공면의 경화에 이용이 가능하고 히트체크억제에도 효과가 커서 열간 단조 및 다이캐스팅금형에 이용이 가능하다. 금형가공공정에서 화합물생성에 따른 연마층제거 작업이 필요없게 되므로 NPPN과 경질 코팅인 PVD 처리와 결합시키면 냉간프레스 사출성형기부품 및 알루미늄 다이캐스팅에 적용 할 수 있을 것이다. 또한 복합처리시 질화후 연마 작업없이 처리가능하며 밀착력도 크게 향상시키는 것도 가능할 것이다.

#### 4. 맺음말

NPPN 질화는 종래의 이온질화 달리 전자의 영향을 받지 않은 상태에서 처리함으로써 화합물층 형성 제어 용이, 질화처리 전후 표면조도 변화 최소화, 높은 생산성 및 친환경적 작업 환경이라는 우수한 특징을 가지고 있다. 향후 사출기 금형, 알루미늄 다이캐스팅 금형, 공구, 치구, 정밀 기계부품 및 자동차 부품 등에 대한 적용이 확대되리라 기대된다. 현재

적용 가능한 강종이나 부품의 확대와 더불어 처리 조건의 최적화를 위한 많은 연구와 더불어 생산기술 연구원에서 개발된 PECVD를 이용한 DLC 공정을 NPPN 공정에 접목시키는 연구가 진행 중이다.

#### 참고문헌

1. [www.ndkinc.co.jp](http://www.ndkinc.co.jp)
2. 생산기술연구논문집, 통권 10호, No. 07 (2004) p 77.