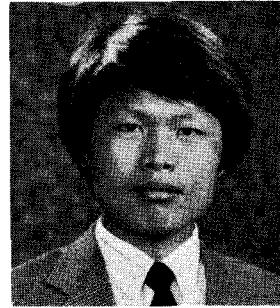


# 尖端技術 어디까지 왔나

## 形狀記憶合金의 技術動向(1)



崔 賢 圭  
(産業研究院 研究員)

### 目 次

- I. 머리말
- II. 形狀記憶合金이란
- III. 形狀記憶合金의 應用
- IV. 形狀記憶合金의 特許動向
- V. 特許로 본 部門別 應用事例
- VI. 맺는말.

〈고딕은 이번號, 명조는 다음號〉

### I. 머리말

形狀記憶合金, 아모르퍼스合金 등의 新金屬材料, 파인세라믹스, 高機能 高分子材料 및 複合材料 등의 新素材 개발은 1980년대에 들어서면서 주요 선진국을 중심으로 국가적 과제로서 책정되어 지원책이 강구되고 있다. 기술의 고도화와 더불어 우리나라에서도 핵심의 첨단 기술로 신소재분야중 신금속재료에 대한 연구가 도화되고 있다.

本稿에서는 신금속재료중 가장 실용화가 널리 진척되고 있는 形狀記憶合金의 應用技術을 중심으로 論하고자 한다.

### II. 形狀記憶合金이란

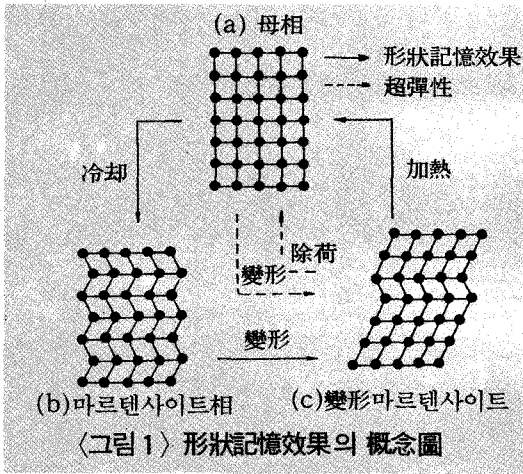
#### 1. 形狀記憶 効果

形狀記憶效果(SME: Shape-Memory Effect)

란 高温에서 어떤 形狀을 기억시켜두면 低温에서 이것을 변형시키더라도 다시 일정한 온도영역으로 가열시키기만 하면 변형시키기 전의 상태(形狀)로 되돌아가는 현상을 말한다. 이 SME는 熱彈性型 마르텐사이트變態와 관계하여 일어나는 현상이다. 熱彈性型 마르텐사이트란 고온에서 母相의 形狀記憶合金을 냉각할 때 변태가 일어나 결정구조가 변하면서 생긴 마르텐사이트로 鋼을 퀴칭(quenching)했을 때와는 다른 특수한 형태이다. 형상기억합금이 변형을 받아도 가열에 의해 원래의 형상으로 복귀하는 것은 이러한 熱彈性型 변태시 母相과 마르텐사이트相의 界面이 온도변화, 外力의 변화에 따라 쉽게 움직일 수 있기 때문이다. 또한 熱彈性型 마르텐사이트는 雙·晶變形이 쉽게 일어나므로 슬립이 생기지 않아도 변형이 가능하다는 것이 특징이다. 따라서 이러한 특징들이 형상기억효과를 내는 필요조건이다.

#### 2. 形狀記憶의 메카니즘

형상기억합금은 變形시킨 후 일정한 온도이상으로 가열하면 변형전의 형상으로 되돌아간다. 이 과정을 結晶構造로 나타내면 〈그림 1〉과 같다. 냉각에 의해(外力이 작용하지 않는 상태) 생성된 熱彈性型 마르텐사이트(b)는 自己調整에 의해 “記憶 가능한 配列”을 만들게 된다. 이 냉각과정의 자기조정으로 생긴 상태에 外力이 가해지면 母相의 結晶格子와 대칭을 이루면서 점차 結晶方位가 변하는 雙晶(Twin)이 생긴다. 雙晶으로 변형된 상태는 슬립으로



변형된 것과는 달리 변형의 전후에서 결정간의 연결이 동일하게 유지되는 原子의 移動에 의한 것이다. 변형후 外力이 제거되면 변형된 형상이 그대로 유지되는데 이는 냉각과정후의 마르텐사이트相과 변형과정후의 마르텐사이트相이 서로 같은 구조이고 열역학적 안정성이 변형 전후에 변하지 않기 때문이다. 外力이 제거된 상태에서 일정온도(Af)이상으로 가열하면 변형된 마르텐사이트(C)는 逆變態가 일어나 母相(a)으로 되돌아 가지만 이 때 원자의 이동도 正變態와 같은 과정을 거치므로 形狀도 원래의 상태가 된다

### 3. 形狀記憶效果의 種類

#### (1) 1方向 記憶

고온에서 기억된 형상은 실온에서 변형한 후 가열하면 原形狀으로 되돌아가는 것으로 단지 1회만 기억하기 때문에 이것을 냉각하더라도 실온에서 변형될 때의 형상으로는 되지 않는다.

#### (2) 2方向 記憶

強加工 또는 熱處理 등의 特殊處理로 高温에서의 형상과 室温에서의 변형된 형상을 함께 기억하여 가열하면 고온상태의 형상으로, 다시 냉각하면 변형시킨 형상으로 되는 것을 可逆 形狀記憶效果라고 부른다.

#### (3) 全方位 記憶

2方位 記憶에 추가하여, 더욱 냉각하면(-30℃) 고온에서의 형상과 정반대방향의 형상이

나타난다. 2方向 記憶에 비해 냉각시 形狀回復力이 상당히 크기 때문에 2方向을 사용할 때 충분히 이용할 수 있다.

#### (4) 凝彈性(超彈性) 效果

熱彈性型 마르텐사이트의 母相을 Af이상의 온도에서 응력을 가하면 應力誘起마르텐사이트라는 매우 불안정한 상태인 特定方位 마르텐사이트가 생긴다. 응력(하중)을 제거하면 마르텐사이트의 彈性效果, 마르텐사이트의 逆變態, 母相의 彈性效果 등의 단계적 回復現象으로 변형이 완전히 제거되는 현상이다.

### 4. 形狀記憶合金의 種類와 特性

形狀記憶效果를 나타내는 合金으로 현재 연구대상이 되고 있는 것은 〈표1〉과 같이 여러

〈표 1〉 각종 SMA의 組成과 變態溫度

| 合金       | 組成                     | Ms(℃) | As(℃) |
|----------|------------------------|-------|-------|
| Ti-Ni    | Ti-50Ni (at%)          | 60    | 78    |
|          | Ti-51Ni (at%)          | -30   | -12   |
| Ti-Ni-Cu | Ti-20Ni-30Cu (at%)     | 80    | 85    |
| Ti-Ni-Fe | Ti-47Ni-3Fe (at%)      | -92   | -72   |
| Cu-Zn    | Cu-39.8 Zn (wt%)       | -120  | -     |
| Cu-Zn-Al | Cu-27.5 Zn-4.5Al (wt%) | -105  | -     |
|          | Cu-13.5 Zn-8Al (wt%)   | 146   | -     |
| Cu-Al-Ni | Cu-14.5 Al-4.4Ni (wt%) | -140  | -109  |
|          | Cu-14.1 Al-4.2Ni (wt%) | 2.5   | 20    |
| Cu-Au-Zn | Au-21 Cu-49Zn (at%)    | -153  | -     |
|          | Au-29 Cu-45Zn (at%)    | 57    | -     |
| Cu-Sn    | Cu-15.3 Sn (at%)       | -41   | -     |
| Ni-Al    | Ni-36.6 Al (at%)       | 60±5  | -     |
| Ag-Cd    | Ag-45.0 Cd (at%)       | -74   | -80   |
| Au-Cd    | Au-47.5 Cd (at%)       | 58    | 74    |
| In-Tl    | In-21 Tl (at%)         | 60    | 65    |
| Mn-Cu    | Mn-35 Cu (at%)         | 180   | 200   |

종류가 있으나 實用合金으로는 주로 니티놀(Ni-Ti계 합금)과 베타로이(Cu-Al-Zn계 합금) 등이다. 최근 低價格의 Fe계가 개발되고 있지만 실용초기단계이다.

(1) Ni-Ti합금과 Cu-Zn-Al계 합금의 실용

〈표 2〉 Ni-Ti 합금과 Cu-Zn-Al 합금의 特性比較

| 區分        | 特 性                         | Ni-Ti                            | Cu-Zn-Al                         |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 物理的 特性    | 密度 g / cm                   | 6.4~6.5                          | 7.7~8.0                          |
|           | 融點 °C                       | 1,240~1,310                      | 960~990                          |
|           | 比熱                          | 6~8 cal / mol · °C               | 0.1 cal / g · °C                 |
|           | 線膨脹係數 10 <sup>-6</sup> / °C | 10                               | 18~19                            |
|           | 熱傳導率(RT) cal / cm · °C · S  | 0.05                             | 0.17~0.27                        |
|           | 比抵抗 10 <sup>-6</sup> Ω · cm | 50~110                           | 9~11                             |
| 機 械 的 特 性 | 인장강도 kgf / mm <sup>2</sup>  | 70~110(熱處理材)                     | 50~60                            |
|           | 인장강도 kgf / mm <sup>2</sup>  | 130~200(未熱處理材)                   | -                                |
|           | 항복강도 kgf / mm <sup>2</sup>  | 5~20(마르텐사이트相)                    | 5~15(마르텐사이트相)                    |
|           | 항복강도 kgf / mm <sup>2</sup>  | 10~60(오스테나이트相)                   | 5~35(β相)                         |
|           | 延伸率 %                       | 20~60                            | 8~12                             |
|           | 硬度 ↓                        | 90H <sub>B</sub>                 | 140~190                          |
|           | 내식성                         | 良好                               | 황동과 같음                           |
| 가공성       | 약간 어렵다                      | 良好                               |                                  |
| 記 憶 特 性   | 變態溫度 °C                     | -10~+100                         | -100~+100                        |
|           | 히스테리시스 °C                   | 2~30 (使用條件에 따름)                  | 5~8                              |
|           | 形狀回復量 %                     | 6≥ (반복이 적은 경우)                   | 4≥ (1方向)                         |
|           | 形狀回復量 %                     | 2≥ (N= 10 <sup>5</sup> )         | 1.5≥ (2方向)                       |
|           | 形狀回復量 %                     | 0.5≥ (N= 10 <sup>7</sup> )       | -                                |
|           | 回復應力 kgf / mm               | 30(最大)                           | 35(最大)                           |
|           | 耐久性 (熱사이클)                  | 10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup> | 10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup> |
|           | 耐熱性 °C                      | ~250                             | ~100                             |

재료의 대표적 物性値는 〈表2〉와 같다. 이들 값은 溫度, 組織, 使用條件, 熱處理條件 등에 따라 달라진다.

1) 物理的 特性.

Ni-Ti 합금이 Cu-Zn-Al합금보다 熱傳導率 이 크므로 주위 온도변화에 의한 反應速度가 빠르나 比抵抗이 크므로 낮은 비저항을 필요로 하는 전기·전자부품에는 불리하다.

2) 機 械 的 性 質

Ni-Ti합금은 재료의 壽命延長 및 耐蝕성이 필요한 醫療分野 등에 유리하며, Cu-Zn-Al 합금은 加工성이 좋으므로 線, 板, 管 등의 형상으로 가공하기 쉽다.

3) 記 憶 特 性

Cu-Zn-Al합금이 低溫側에서 유리하며 히스

테리시스도 작다.

(2) Ni-Ti合金의 特性

強度, 인성, 內磨耗性, 耐蝕성이 좋고 疲勞壽命이 길며 形狀回復量이 크다. 그러나 가격이 비싸고 加工하기가 힘들다. 현재 센서와 액츄에이터를 겸한 機能材料로서 機械, 電氣分野에서 용도가 확대되고 있다.

(3) Cu系 合金의 特性

熱傳導率과 加工性(특히 熱間加工性)이 좋고 比抵抗과 히스테리시스가 작고 變態溫度의 범위가 넓고 變態溫度 및 使用條件 依存성이 적으며 素材의 코스트가 싸다. Cu계 합금은 合金의 結晶粒 微細化가 어려우며 熱사이클疲勞성이 좋지 않다. 耐蝕·耐磨耗性도 Ni-Ti 합금보다 떨어지나 가격이 비교적 싸고 加工性

이 종아 파이프이음매 接續用具에 사용되며, 최근에는 화재경보기, 스프링쿨러, 온실창의 개폐 등에도 응용되고 있다.

### Ⅲ. 形狀記憶合金의 應用

形狀記憶效果를 이용하여 다양하게 응용되는 예들을 動作原理面에서 구분할 때 非可逆的인 이용법과 可逆的인 이용법으로 구분할 수 있다.

#### 1. 非可逆的 利用例

##### (1) 形狀回復만의 利用

###### 1) 우주안테나

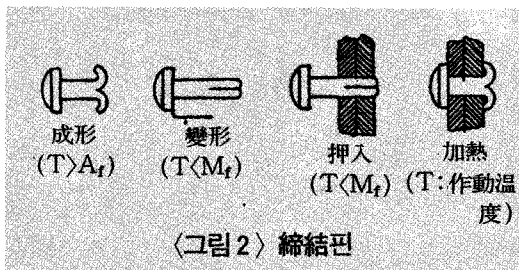
형상기억합금의 최초 응용예로 고려된 것으로, Nitinol로 만든 큰 안테나를 작게 접어 달로 운반하고 달표면에 세트하면 햇빛에 가열되어 원래의 큰 안테나로 복원된다는 아이디어를 이용한 것이다.

###### 2) 의료용 재료

生體適合性이 뛰어난 니티놀을 肺塞栓症을 미연에 방지하는 凝血 필터로 쓰거나 血管 지름과 같은 크기의 코일狀 니티놀線을 혈관에 넣어 혈관 내벽의 콜레스테롤을 제거하는 장치가 있다.

##### (2) 形狀回復과 形狀回復力の 利用

###### 1) 締結핀 (<그림2>)

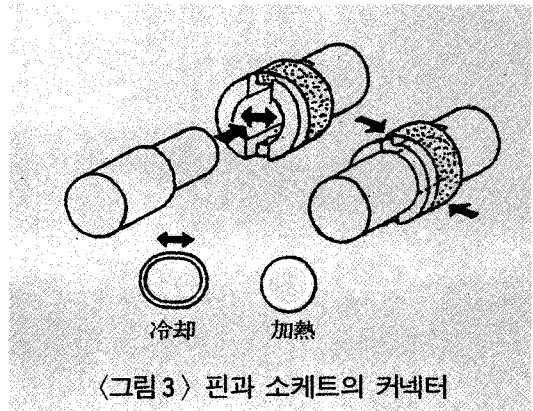


<그림2> 締結핀

진공기 등에서 손을 사용하지 않고도 이용할 수 있고 締結力이 크기 때문에 건축·원자력분야 등에서 쓰인다.

###### 2) 파이프 이음매

양적으로 수요가 큰 분야로 형상회복력이 커서 체결력이 충분하여 漏油 등의 걱정이 없다. F14기나 잠수함 등의 배관에 사용한다. 또한 電氣回路의 핀과 소켓의 커넥트에 적용



<그림3> 핀과 소켓의 커넥트

되는 堅固한 커플링에도 적용된다. (<그림3>)

##### 3) 骨折部에 대한 壓迫固定用 본플레이트 (Bone Plate)

니티놀板을 骨折部에 설치하고 약간 加熱하면 오그라들어 골절부의 끝을 확실하게 끼워 넣을 수 있다. 또한 人工關節과 뼈의 고정에도 쓰인다.

#### 2. 可逆的 利用例

(1) 溫度센서와 액츄에이터의 複合機能 感熱 액츄에이터로서 形狀記憶合金의 응용은 部品の省略化에 직결되므로 그 응용범위가 매우 넓다. 현재 英國의 Delta Memory Metal社가 이 분야에서 가장 활발한 應用研究를 하고 있다.

##### 1) 溫室窓의 自動開閉裝置

베타로이(Cu-Zn-Al합금)의 코일스프링을 이용한 것으로 온실내의 온도가 180℃가 되면 창문이 열리기 시작하여 25℃에서 완전히 열리고, 반면 18℃이하로 되면 스프링이 收縮하여 창문이 닫히게 된다.

##### 2) 溫水煖房用 溫度調節밸브

방의 온도가 올라가면 형상기억 스프링이 팽창하여 熱湯管의 밸브를 닫는다. 이러한 構造는 溫度調節裝置(Thermostat), 電氣포트 등에 이용할 수 있다.

##### 3) 自動車엔진 加熱防止用 팬클러치

라디에이터에서 air-off의 온도(보통 53℃)를 넘으면 코일상의 形狀記憶스프링은 라디에이터를 회전시키는 클러치와 맞물려 온도가

올라가 있는 동안은 클러치板에 그대로 접속되어 있는 반면 저온에서는 라디에이터팬이 4·2회/秒로 空回轉한다. 高温이 되면 팬의 回轉速度는 엔진전체를 냉각시키기에 충분한 속도까지 상승한다. 만약 엔진의 냉각에 필요한 팬의 회전속도가 엔진속도보다 작게 되면 팬클러치는 미끄러지게 된다. 따라서 팬은 필요한 만큼만 일을 하므로 에너지를 절약할 수 있다.

#### 4) 캐브레이터用 제트오리피스

燃料의 온도가 올라가면 형상기억합금으로 된 오리피스의 口徑이 작아져 필요한 만큼의 연료를 정확히 計量할 수 있으므로 Co가스 放出量을 줄일 수 있고 燃料粘性에 대한 온도 변화를 보상하여 燃料消費를 最適化할 수 있다.

5) 휴대용 人工腎臟시스템의 마이크로 펌프 藥液注入用 펌프에 이용되는 것으로 양끝에 一方向 밸브를 설치한 벨로우즈의 중심부 튜브 내에 NiTi선을 통과시켜 가열시 벨로우즈가 수축하여 藥液이 送出되고 냉각시는 늘어나 藥液이 흡입되는 구조이다.

#### 6) 人工心臟用 人工筋肉

美 뉴욕주립대에서 試作한 것으로 人工心臟의 엘라스토머로 된 챔버壁에 니티놀 細線을 다발로 장치하고 사이클 電氣펄스를 보내어 가열하면 심장의 수축운동이 가능하다는 것이다. 펌프能力은 분당 12~15회의 주기로 물은 1,600mm의 높이까지 끌어올릴 수 있다.

#### 7) 記錄計用 팬驅動유니트

入力信號를 電流로 변환하고 이 전류를 유도 코일에 흘려보냄으로써 引張應力하에 있는 니티놀線을 가열하여 선의 길이변화로 접속하고 있는 레벨이 움직이게 된다.

#### 8) 마이크로 액츄에이터

直線을 기억하는 니티놀線과 스프링을 조합하여 加熱·冷却에 따라 往復運動한다. 마이크로컴퓨터로 펄스加熱을 조작하면 變位量과 定位量을 제어할 수 있다. 이 작용을 이용하여 微小管內, 微小孔, 高所領域에서의 마이크로작업 로봇, 현미경의 作業밴드, 人工팔의 기능을

갖는 매니플레이터로 적용할 수 있다.

#### (2) 에너지變換材料로서의 이용

熱에너지를 機械에너지로 변환시키는 것으로 熱엔진의 일종이다. 形狀記憶合金을 加熱·冷却시키면 低温의 熱源에서 일량을 얻을 수 있다. 열엔진의 회전구동요소는 주로 耐蝕性和 反復變形特性이 우수한 NiTi線을 주로 이용한다. 驅動力에는

① U字形으로 가공된 線이 가열되면서 직선으로 되돌아 가는 힘,

② 引張된 선이 加熱로 수축하는 힘,

③ 코일形을 기억시켜 실온에서 인장하고 가열시 원래의 코일狀으로 수축하는 힘 등이 있어 이를 이용한다. 形狀記憶 熱엔진에는 壼셋트크랭크式, 터빈式, 필드式, 斜板式의 4종류가 있다. 최근 出力도 향상되어 1kw정도의 것도 개발되고 있다.

#### 1) Banks엔진

壼셋트크랭크式 엔진의 대표적인 例로 車輪으로 치우친 크랭크와 차륜사이에 20가닥의 U字形 니티놀선을 연결하여 이 線이 熱浴을 통과할 때 직선으로 늘어나 壼셋트크랭크를 밀고 그 接線力 成分에 의해 車輪이 회전된다.

#### 2) 流湯式 縱型 熱엔진

이 엔진은 터빈式으로 差動滑車의 원리를 기초로 한 것으로 출력밀도와 회전속도가 크고 구조도 간단하나 토크를 크게 하는 것이 어렵고 수명에도 문제가 있다.

그러나 이러한 엔진은 소형이고 出力이 작으며 엔진變換效率이 낮으나 低級의 熱에너지源인 공장폐수 등을 효과적으로 이용할 수 있다는 것이 특색이다. <계속>

### 新 刊 案 內

#### 特許專擔部署 業務指針書

저 자: 金 允 培 번역사

규 격: 국판 320면

가 격: 10,000원