

Fe-17wt%Mn 합금의 진동감쇠능, 내후성 및 기계적 성질에 미치는 Cu 첨가의 영향

백승한·김정철·지광구*·최종술**

(주)우진 계측기술연구소

* 한국과학기술연구원 금속연구부

**연세대학교 공과대학 금속공학과

Effects of Copper Addition on Damping Capacities, Atmospheric
Corrosion and Mechanical Properties of Fe-17wt%Mn Alloy

S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee* and C.S. Choi**

Research Institute of Measuring Technology, Woojin OSK Corp., Korea

*Korea Institute of Science and Technology, Div. of Metals, Seoul 136-791

**Yonsei University, Department of Metallurgical Engineering, Seoul 120-749

ABSTRACT

We have reported that an Fe-17wt%Mn alloy exhibits the highest damping capacity in the Fe-Mn binary system. In the present work, the effects of copper content on the damping capacity, atmospheric corrosion and mechanical properties were studied. The damping capacities were measured at room temperature for the air cooled Fe-17wt%Mn alloy having copper content from 0.1wt% to 1.1wt%. The damping capacity of the Fe-17wt%Mn alloy was decreased with increasing copper content.

However, the addition of Copper was found to improve mechanical properties and atmospheric corrosion resistance. These mechanical properties were attributed to the formation of stress-induced martensite during tensile test.

1. 서 론

산업문명이 고도로 발전함에 따라 인류의 생활은 편의와 풍요를 누리게 되었지만, 그것이 남긴 각종 부산물은 공해로서 우리의 자연환경을 위협하고 있다. 이들 공해중 소음과 진동은 인간에게 심리적

불안감과 난청 등의 질병을 유발시키며, 공업적 측면에서는 정밀기계의 정밀도 저하 및 부품의 조기 피로파괴 등의 성능저하를 야기시킨다. 이러한 소음과 진동을 방지하기 위해서 종래에는 진동체에 오일뿔퍼나 에어뿔퍼를 설치하여 진동에너지를 흡수시키거나(System Damping), 금속과 금속사이

에 점탄성이 큰 고분자재료를 끼워서 진동에너지를 흡수시키는 방법(Structure Damping)을 강구해 왔었다. 이러한 구조적 방법에 의해서는 진동과 소음을 제거하는데 있어서 많은 문제점들이 내포되어 있을 뿐만 아니라, 공업적 이용면에서도 그 한계성을 벗어날 수가 없다. 따라서 최근에 와서는 금속 재료 그 자체가 진동에너지를 직접 흡수케 하는 적극적인 방식(Material Damping)으로 방진대책이 전환되면서 방진합금의 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.¹⁻³⁾

최근 저자들중의 일부가 Fe-Mn 이원계 합금이 높은 진동감쇠능을 나타내며, 기계적 성질 또한 매우 우수하다는 사실을 처음으로 밝혀내었으며, 진동감쇠는 γ/ϵ 계면의 이동에 의해서 일어난다고 제안한 바 있다.⁴⁻⁸⁾

따라서 본 연구에서는 Fe-Mn 이원계 합금중에서 진동감쇠능이 가장 우수한 Fe-17wt%Mn 합금을 선정하여, 내후성에 대한 효과가 기대되는 합금 원소인 구리를 첨가하여 이 합금의 진동감쇠능과 기계적 성질의 변화를 조사하였으며, 비교재(SPC 등)와 함께 상대적인 내후성을 비교 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조 및 열처리

본 연구에 사용된 합금은 99.9% 순도의 전해철, 전해망간 및 구리를 고주파유도로에 소정량 장입하여 용해한 다음, 약 5kg의 잉곳트를 제작하여 1,150°C의 온도에서 24시간 유지하여 균질화처리를 행하였다. 본 연구에 사용된 합금의 화학조성 및 변태온도를 Table 1에 나타내었으며, 변태온도는 TMA를 사용하여 측정하였다.

1,150°C에서 균질화처리를 행한 후, 스케일을 제거하기 위하여 잉곳트를 적당한 봉상으로 절단하여 가공하였으며, 950°C에서 열간압연을 하여 비틀림 전자 진동시험편 및 인장시험편을 제작하기 위하여 직경 15mm의 봉상을 만들었다. 또한 950°C

Table 1. Chemical composition and transformation temperatures of the alloys used.

Alloy No.	Chemical Composition (wt %)			Transformation Temperature(°C)		
	Mn	Cu	C	M_s	A_s	A_f
Alloy 1	17.21	0.12	0.01	150	205	225
Alloy 2	16.96	0.31	0.02	142	205	222
Alloy 3	16.93	0.50	0.02	136	212	233
Alloy 4	17.40	0.69	0.01	130	186	207
Alloy 5	17.24	0.89	0.02	122	182	202
Alloy 6	17.30	1.10	0.02	100	172	197

에서 3mm 두께로 압연하여 판상의 X-선 회절시험편 및 조직관찰용 시험편을 제작하였다. 기계가 공한 각 시험편의 진동감쇠능을 측정하기 위하여, 1,050°C에서 1시간 용체화처리한 후 대기중에서 공냉하였으며, X-선 회절시험편, 조직관찰용 시험편 및 인장시험편도 같은 1,050°C에서 1시간 용체화처리 후 공냉하였다.

2.2 진동감쇠능 측정 및 인장시험

진동감쇠능 측정장치는 본 연구실에서 제작한 Fig. 1의 Föpple-Pertz형 비틀림 전자 시험장치를 사용하였으며, 시험편을 자유진동시켰을 때 시간의 경과에 따라 진동의 폭이 점차 감소해 가는 것을 Potentiometer로 감지하여, 증폭기를 거쳐 A/D Converter를 통해 입력된 신호인 시간대 진폭변화 곡선으로부터 strain에 따른 진동감쇠능(Specific damping capacity)을 측정하였다. 또한, JIS 4호 봉상 인장시험편을 제작하여 Instron-4486 만능재료시험기를 이용하여 인장성질을 조사하였으며, 이때의 cross-head speed는 2mm/min으로 하였다.

2.3 내후성 측정

내후성 평가를 위하여 0.001N-H₂SO₄ 용액에서 정전위분극시험과 50°C에 유지된 10%-NaCl 용액에 24, 48, 72, 96시간 각각 유지한 후, 부착되

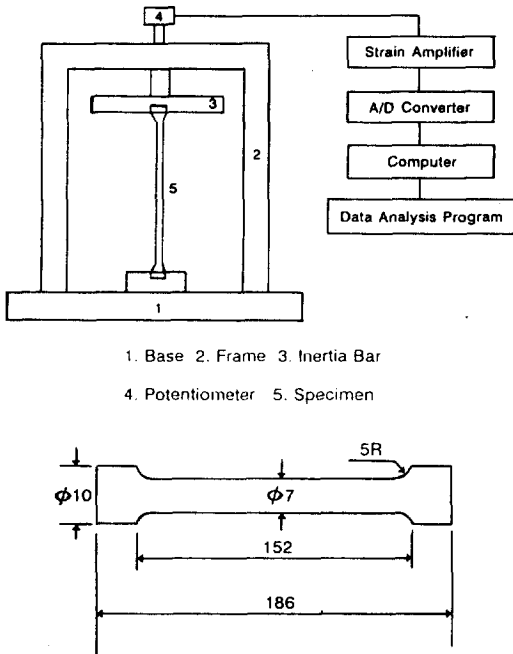


Fig. 1 Schematic diagram of damping measuring apparatus and dimension of its specimen(in mm)

어 있는 부식생성물을 실온의 30% 질산으로 산세하여 시험 전후의 무게를 측정하는 침지시험을 행하였다. 이때 부식도는 시험 후의 감소된 무게로 단위면적당의 값(g/m^2)으로 나타내었으며, KSA-0021에 따라 소수점이하 둘째자리로 끝맺음하여 표시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Fe-17wt%Mn-X%Cu 합금의 X-선 회절시험 및 진동감쇠기능 변화

각 합금을 용체화처리를 거쳐 공냉한 후 광학현미경으로 조직관찰한 결과를 Photo. 1에 나타내었다. Cu 첨가량이 증가함에 따라 ϵ 량이 감소되었음을 알 수 있었으며, 이를 정량적으로 관찰하기 위해 X-선 회절시험한 결과, Cu 첨가량이 증가할수록 α' 과 ϵ peak는 점점 작아지고, γ

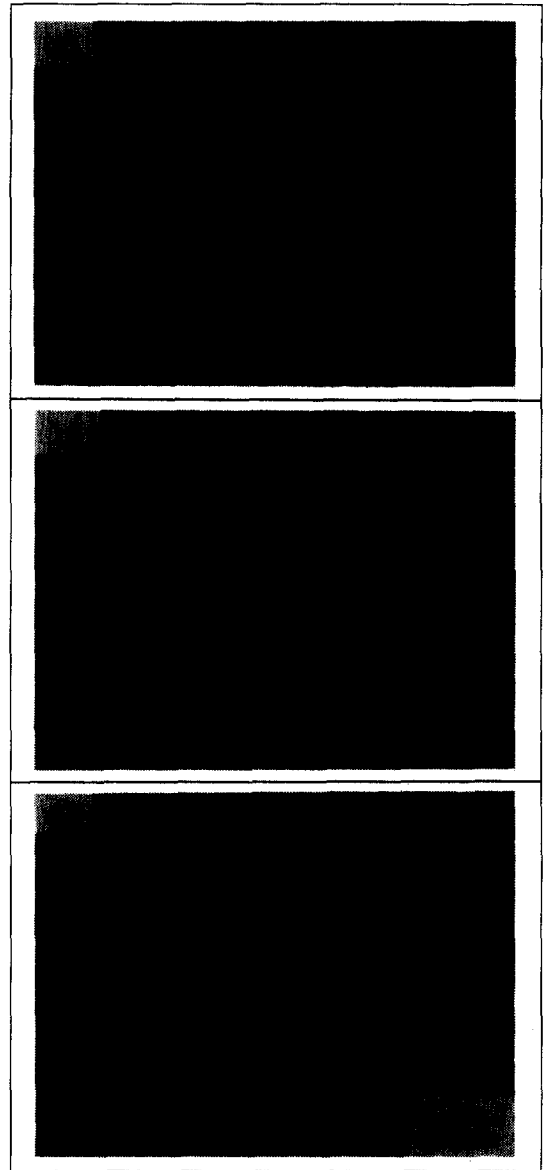


Photo. 1 Microstructures of the air-cooled alloys.

(a) alloy 1 (b) alloy 3 (c) alloy 6

peak는 커지고 있음을 알 수 있었다. Fig. 2와 Fig. 3에는 각 합금의 X-선 회절도형과 각상의 상분을 변화를 나타내었다.

또한 Fig. 4는 Cu 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타낸 것으로 Cu 첨가량이 증가할수

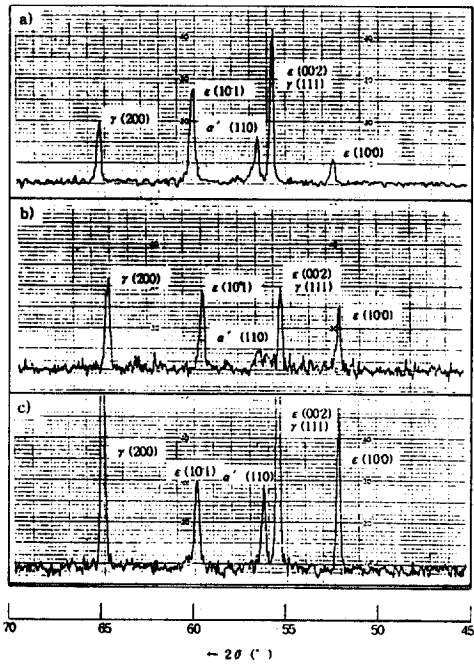


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of the alloys air-cooled from 1,050°C (a) alloy 1 (b) alloy 3 (c) alloy 6

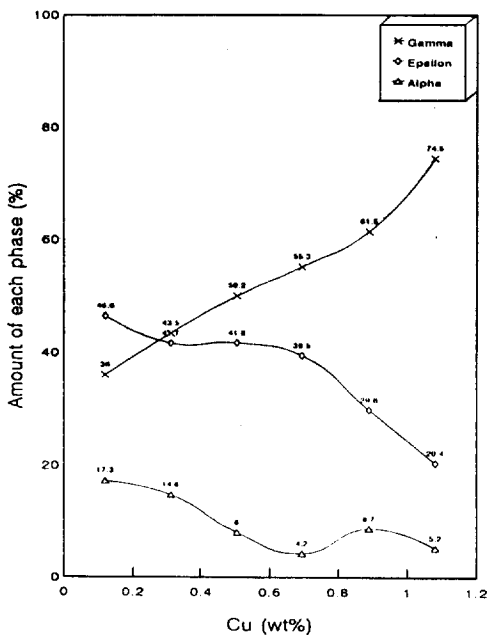


Fig. 3 Variation in volume fraction of each phase with Cu content in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys.

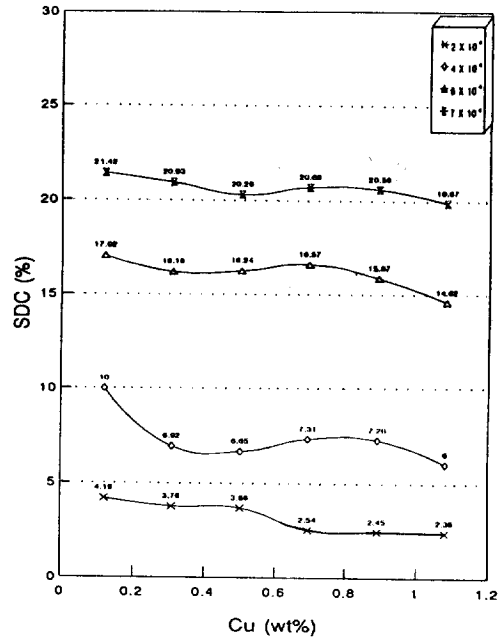


Fig. 4 Variation in specific damping capacity with Cu content in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys subjected air cooling

록 진동감쇠능에 영향을 미치는 ϵ 량이 감소하여 감쇠효과를 저하시킨 것으로 생각된다.

Fig. 5는 Fe-17wt%Mn-X%Cu 합금에서 Strain에 따른 감쇠능의 변화를 보여주고 있다. 합금 모두가 strain이 커질수록 감쇠능이 급격하게 증가하고 있다. 즉 외부의 응력이 클수록 γ/ϵ 계면의 이동이 보다 쉬워지기 때문에 그만큼 진동감쇠효과가 크다고 생각되며, 이는 이력형 감쇠의 전형적인 특징인 진폭의존성을 보여주고 있다. 진폭이 클수록 감쇠효과가 더 커지는 이러한 특징은 이 합금의 실용화에 더욱 기대를 걸게하는 결과이다.

3.2 Fe-17wt%Mn-X%Cu 합금의 기계적 성질

Fig. 6은 Cu 첨가량에 따른 각 합금의 인장시험 결과를 나타낸 그림이다. Cu 첨가량이 증가할수록 인장강도는 α' 마르텐사이트의 증가와 더불어 다소 증가하며, 연신율은 Fe-Mn 이원계 합금보다 10% 정도 증가한 높은 연성을 나타내었다. 이러한

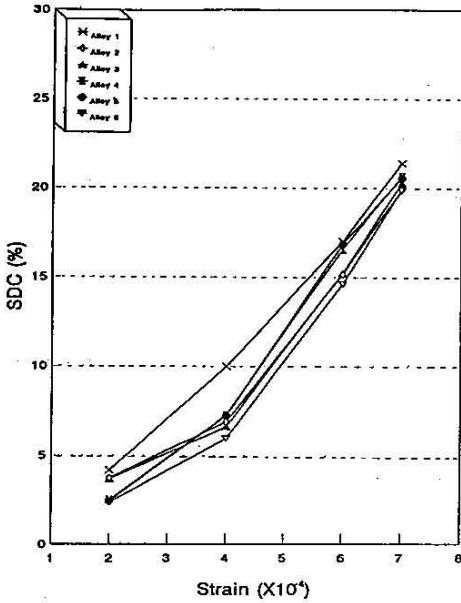


Fig. 5 Variation in specific damping capacity with strain in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys.

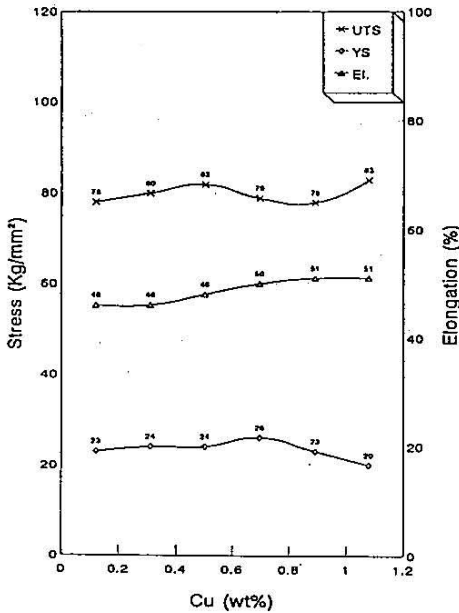


Fig. 6 Relation between tensile strength, elongation and Cu content in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys.

원인은 Cu 첨가량이 증가함에 따라 M_s 가 낮아지면서 ϵ 마르텐사이트량도 함께 적어지기 때문에 잔여 오스테나이트량이 많아져서 응력유기변태로 인하여 연신율이 크게 증가했다고 생각된다.

3.3 Cu 첨가량에 따른 내후성의 변화

내후성 향상 원소인 Cu 첨가량에 따른 내후성을 평가하기 위해 0.001N-H₂SO₄ 수용액에서 정전위 분극시험을 행하였으며, 이 실험의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Cu 첨가량의 증가에 따라 부식전류와 부식전위가 보다 향상된 값을 나타내어 내후성이 크게 개선되었던 것을 알 수 있었다.

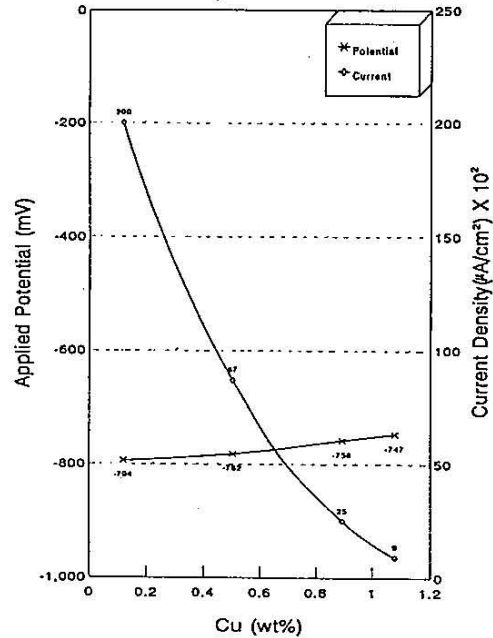


Fig. 7 Variation of applied potential and current density with Cu content in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys.

Fig. 8은 각 합금을 50℃로 유지된 10%-NaCl 용액에서 24, 48, 72, 96시간 침지한 후 무게감량 측정으로부터 부식속도를 나타낸 그림으로, Cu 함유량이 0.3% 이상인 경우에는 내후성 향상 효과

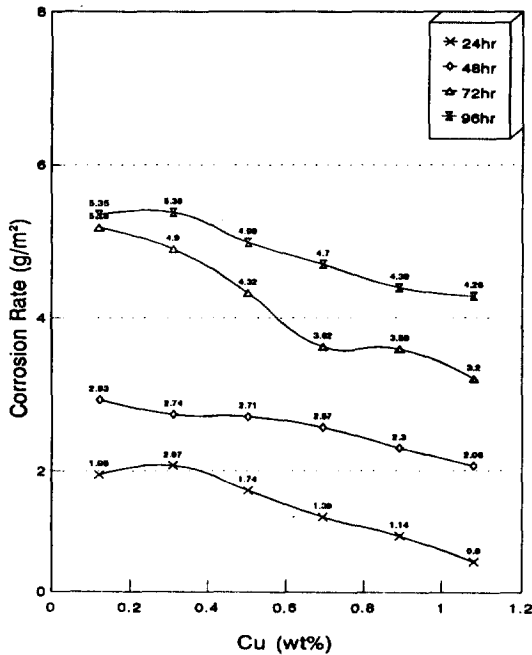


Fig. 8 Variation of corrosion rate with Cu content for the various immersion times in Fe-17wt%Mn-X%Cu alloys.

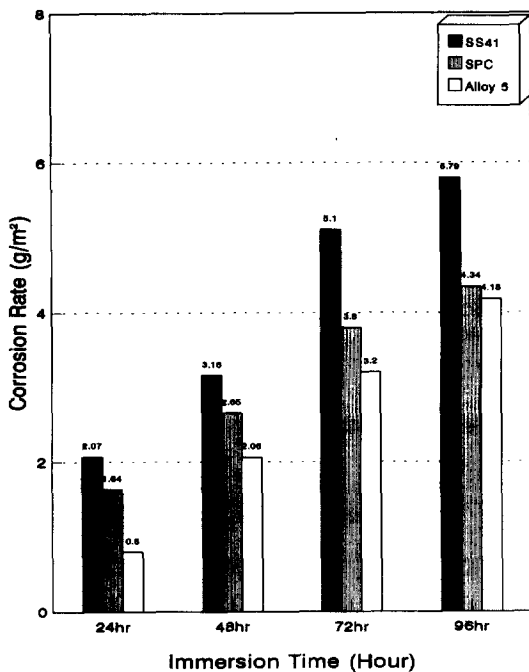


Fig. 9 Comparison of corrosion rates in Fe-17wt%Mn-1.1wt%Cu alloy and other alloys.

가 크게 개선되었음을 알 수 있었다. 이러한 원인은 표면 Rust 하부모재 계면에 Cu가 농축되어 있는 안정된 비정질층⁹⁾이 형성되어 부식진행을 억제하기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 9는 비교재로서 일반강과 함께 침지시험을 행한 결과를 나타내었다. Cu 첨가에 의해 Fe-Mn 이원계 합금의 내후성을 크게 개선시킬 수 있었으며, 비교재인 일반강에 비해 매우 안정된 균일한 형태의 부식거동을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 이는 원자력 발전소, 토목, 건축, 교량 등에 고내후성 구조용 재료로의 적용 가능성을 보여주고 있다.

4. 결 론

Fe-Mn 이원계 합금중에서 진동감쇠능이 가장 우수한 Fe-17wt%Mn 합금을 선정하여 내후성에 대한 효과가 기대되는 합금원소로 알려진 구리를 첨가하여 진동감쇠능, 기계적 성질 및 내후성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Fe-17wt%Mn-X%Cu 합금의 경우, Cu 첨가가량이 증가할수록 진동감쇠능은 다소 감소하였으나, 각 합금 공히 진폭이 클수록 감쇠효과가 커지는 이력형 감쇠합금의 전형적인 특징인 진폭의존성을 나타내었다.

2) Cu 첨가로 인하여 Fe-Mn 이원계 합금에 비해 인장강도는 10kg/mm², 연신율은 약 15% 향상된 고강도 고연성을 나타내었다.

3) 내후성 평가를 위하여 0.001N-H₂SO₄ 수용액에서 정전위분극시험과 10% NaCl 용액에서 침지후 무게감량 측정으로 부식시험을 행한 결과, Fe-Mn 이원 합금에 비해 우수한 내후성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 杉本孝一: 鐵と鋼, 14(1974), 127
2. 川邊尙志, 原改造: 日本金屬學會誌, 44(1980), 776

3. X. W. Wang : Scripta Metallurgica, 23(1989), 507
4. 최종술, 김준동, 문인기, 백승한 : 열처리공학회지, Vol. 4, No. 4, 15
5. 조태희, 최종술, 유계현, 백승한 : 대한금속학회 추계발표대회 개요집, 1991, 199
6. 김정철, 최종술 : 대한금속학회 추계발표대회 개요집, 1992. 45
7. C. S. Choi, J. D. Kim, T. H. Cho, S. H. Baik and G. H. Ryu : "Damping capacities in Fe-X%Mn Martensitic Alloys", Proc. of ICOM-AT-92, Monterey, California, 20~24 July, 1992
8. C. S. Choi and Woojin OSK Corp. : Korea Pat, No. 5290372(1994)
9. R. J. Brigham, et al. : Corrosion, 29(1973), P.33