한국소음진동공학회지 제 9 권 제 4 호, pp. 720~729, 1999.

〈논 문〉

Fe-Mn 방진합금을 적용한 발전소 격납용기 살수펌프의 소음·진동 저감효과에 관한 연구

Application of Fe-Mn High Damping Alloys for Reduction of Noise and Vibration in Power Plants

백 승 한*

Seung-Han Baik

(1999년 1월 20일 접수 ; 1999년 5월 17일 심사완료)

Key Words : High Damping Alloy(방진합금), Specific Damping Capacity(비감쇠능), Fe-Mn Binary System(철-망간 이원계합금), Non-Ferrous Damping Alloy(비철계 방진합금)

ABSTRACT

Conventional methods for reducing vibration in engineering designs (i.e. by stiffening or detuning) may be undesirable in conditions where size or weight must be minimized, or where complex vibration spectra exist. Some alloys with a combination of high damping capacity and good mechanical properties can provide attractive techanical and economical solutions to problems involving seismic, shock and vibration isolation. Although several non ferrous damping alloys have been developed, none of those materials are applied in any industrial factor due largely to high production cost. To meet these requirement, we have developed a new Fe-Mn high damping alloy. In previous studies, we have reported that an Fe-17%Mn alloy exhibits the highest damping capacity(Specific Damping Capacity:SDC, 30%) among Fe-Mn binary system, and proposed that the boundaries of various types such as ϵ-martensite variant boundaries, stacking faults in ϵ-martensite, stacking faults in austenitic and γ/ϵ interfaces give rise to a high damping capacity. The Fe-17%Mn alloy also has advantages of good mechanical properties(T.S. 70 kg/mm^2 and low cost over other damping alloys(1/4 times the cost of non-ferrous damping alloy). Thus, the Fe-17%Mn high damping alloy can be widely applied to household appliances, automobiles, industrial facilities and power plant components. In this paper, the overall properties of the Fe-17%Mn high damping alloy is introduced, and its applicability to containment spray pump in the power plant is discussed.

1. 서 론

산업문명이 고도로 발전함에 따라 인류의 생활은 편의와 풍요를 누리게 되었지만, 그것이 남긴 각종 부산물은 공해로써 우리의 자연환경을 위협하고 있다. 이들 공해중 소음과 진동은 인간에게 심리적 불안감과 난청 등의 질병을 유발시키며, 공업적 측면에서는 정밀기계의 정밀도 저하 및 부품의 조기피로파괴 등의 성능저하를 야기시킨다. 이러한 소음과

* 정회원, (주)우진 기술연구소 신소재연구팀

진동을 방지하기 위해서 종래에는 진동체에 오일댐퍼나 에어댐퍼를 설치하여 진동에너지를 흡수시키거나(system damping), 금속과 금속사이에 점탄성이 큰 고분자재료를 끼워서 진동에너지를 흡수시키는 방법(structure damping)을 강구해 왔었다. 그러나 이러한 구조적 방법에 의해서는 진동과 소음을 제거하는 데 있어서 많은 문제점들이 내포되어 있을 뿐만 아니라, 공업적 이용면에서도 그 한계성을 벗어날 수가 없다[1,2].

따라서 최근에 와서는 금속재료 그 자체가 진동에너지를 직접 흡수케하는 적극적인 방식(material damping)으로 방진대책이 전환되면서 방진합금의 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다[3~6]. 선진국의 방진합금 연구사례로는 미국에서 1960년대부터 군사적인 목적으로 개발이 시작되어 "Sonostone"이라는 상품명으로 Mn-Cu계 합금[7]이 개발되어 사용되어진 바 있다. 산업목적으로 일반 착암기에 적용한 경우 소음도가 110 dB 정도인데 반하여 이 합금을 이용하면 98 dB로 낮출 수 있다는 보고가 있으며, 현재에는 잠수함 스크류, 착암기 등에 응용되어 소음을 약 1/5 정도로 감소시킨 사례가 있다. 일본에서는 Fe-Cr계[8], Fe-Al-Si[9] 등의 합금을 개발하여 "Silentalloy", "Serena" 등의 상품명으로 시판되어, 주로 철도 및 선박 관련 부품으로 응용되고 있다고 한다.

그러나 그간 여러 연구자들에 의해 개발된 방진합금(Mn-Cu 합금, Cu-Al-Ni 합금[10], Ni-Ti 합금[11], Fe-Al-Si 합금, Fe-Cr 합금)들은 구성원소의 가격이 고가이고, 가공성이 불량하며, 합금제조공정이 까다롭고 제조비용이 비싼 단점이 있기 때문에 특수한 공업적 및 상업적 목적에만 그 용도가 국한되어 왔을 뿐 일반적 용도에는 경제성 때문에 선진국에서도 실용화가 어려운 실정이다. 이에 반하여 국내에서는 방진 및 방음문제를 주로 기계공학적 설계등으로 해결해 왔었으나, 최근에 와서 소음진동규제법이 까다롭게 적용되면서 기계적 해결방법으로는 그 한계가 있음을 본 연구진에서는 새로이 인식하여 Fe-Mn 이원계 합금에 대해 연구한 결과, 높은 진동감쇠능을 나타내며 기계적 성질 또한 매우 우수하다는 사실을 처음으로 밝혀내어 보고한 바 있으며[12~20], 현재는 연구개발결과를 상업화하는 과정중에 있다. 따라서, 본 연구에서는 지금까지 개발된 각종 방진합금과 본 연구진에 의해 개발된 Fe-17% Mn방진합금의 특성비교와 아울러 진동허용값(ASME OMPART-6요건)을 초과하여 많은 문제가 야기되고 있는 고리원자력발전소 1호기 격납용기살수펌프에 대해 진동감쇠능이 일반강의 15배나 되는 기능을 가지면서도, 기계적성질이 우수한 Fe-17% Mn 방진합금을 이용하여 격납용기 살수펌프의 Basement(pump out board, pump in board, motor support, shim plate)를 시험품으로 제작하여 단품 시뮬레이션실험 및 현장대체시험을 통하여 소음·진동절감효과를 조사함과 동시에 Material Damping을 이용한 회전기기의 진동저감화에 대한 실용성 확인 및 대체가능성에 대해 검토하였다.

2. 이론적 배경

2.1 소음·진동 제어 기술의 동향과 방진재료

소음·진동 공해에 대한 사회적인 관심은 날이 갈수록 점차로 고조되어 차량, 선박, 가전제품 등의 소음·진동에 관한 법적 규제도 점점 강화되고 있으며, 최근 우리나라에서도 건축물 붕괴사고를 줄이기 위해 내진설계를 의무화했다. 또, 노동환경의 개선이나 상품의 고부가가치화라는 측면에서도 기계, 기기류의 저소음, 저진동화가 불가결한 기술과제로 되어가고 있는 현실정이다. 소음·진동 제어용 재료를 기능별로 분류하면 공기 전달음 방지의 흡음재료와 차음재료, 소음의 원인이 되는 진동방지의 방진재료와 진동절연재료로 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

방진재료는 진동에너지를 흡수하여 열로 변환시키는 능력이 큰 것을 말하며, 고체음과 고체진동이 문제가 되는 경우에 음원과 진동원에 사용하여 공진진폭, 진동속도를 감쇠시키는 재료를 말한다. 그러므로 진동원이 되는 부품을 방진재료로 교체하는 것으로 감음효과를 얻을 수 있다. 또한 진동방지의 원칙은 질량증대, 강성강화, 공진회피와 진동감쇠가 주요인이기 때문에 경박단소의 시대에 방진재료의 중요성은 매우 높다고 할 수 있다.

2.2 방진합금의 연구개발동향

방진특성은 초소성 및 형상기억효과(초탄성효과)

Table 1 Classification of noise and vibration control materials

	Noise	Vibration
Absorption of energy	Sound absorbing materials	Damping materials
Reflection of energy	Sound insulating materials	Vibration insulating materials

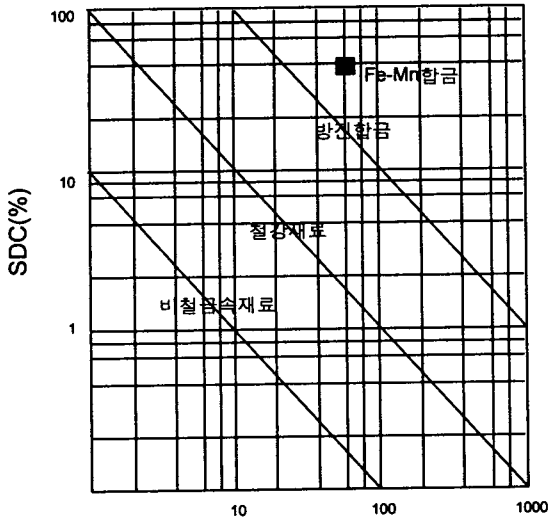


Fig. 1 Tensile strength and specific damping capacity of various alloys

와 병행해서 기능의 3대 특성으로서, 최근 특히 주목을 받고 있다. 방진합금은 십수년전 미국과 영국에서부터 발단이 되면서, Nitinol(NiTi)[11]등의 쌍정형 합금이 개발된 이래, 주목의 대상이 되어 왔다. 방진합금은 종래처럼 진동과 소음을 구조적 방식(system damping 및 structure damping)에 의해서 완화하는 것이 아니라, 금속재료 그 자체가 갖는 큰 감쇠능을 이용해서 진동 및 소음의 발생원을 없애버리는 것으로, 종래와는 전혀 다른 발상으로부터 탄생된 재료이다. 납이나 마그네슘처럼 금속음이 없고 철강처럼 강도가 높은 재료, 즉 감쇠능이 크고 인장강도가 높은 재료를 방진합금이라 부른다. 현재까지 개발된 방진합금의 진동감쇠능과 인장강도와의 관계를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 비감쇠능(SDC)은 항복응력 σ_y의 1/10의 응력진폭을 이용하여 표현했다.

이러한 진동감쇠능을 나타내는 척도중의 하나인 비감쇠능으로 방진합금을 분류하면 다음과 같다.

고 감쇠능재료(high-damping material)
: SDC 〉 10%
중 감쇠능재료(moderate-damping material)
: SDC = 1~10%
저 감쇠능재료(low-damping material)
: SDC 〈 1%

2.3 방진합금의 진동감쇠

재료의 진동감쇠능은 재료자체내에서 진동에너지를 소모시키는 능력이라고 말할 수 있다. 진동감쇠를 일으키는 주요한 형태로는 완화형(relaxation type), 공명형(resonance type) 및 이력형(hysteresis type)의 3가지로 대별할 수 있다[21]. 완화형에 의한 감쇠는 진동의 진폭에 의존하는 것이 아니라 진동수에 의존하는 것으로, 이 경우 진동감쇠능은 다음과 같은 식으로 표현된다[22].

$$\frac{\Delta E}{E} = 2\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{\max}\left[\frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}\right] \quad (1)$$

여기에서 τ는 침입형 고용원소의 확산에 의해 생기는 최대 의탄성 변형률의 $1/e$ 값으로 떨어지는데 걸리는 시간이며, 윗 식에서 $\omega\tau=1$ 인 특정진동주파수에서 최대 감쇠능을 보인다. 또 완화시간은 확산에 의존하는 것으로 Arrhenius 식 (23) ($\tau = \tau_o$ EXP(Q/RT))에 따라 변하므로 온도에 따라 감쇠능이 변하게 된다. 따라서, 최대 감쇠능을 나타내는 점을 결정하는데는 두 가지 방법이 존재한다. 즉,

(1) 온도를 일정하게 하고 진동수를 변화시키는 법
(2) 진동수를 일정하게 하고 온도를 변화시키는 법

이런 완화형 감쇠는 금속내부의 확산, 석출, 규칙배열등 여러 제반사항을 알아내는데 유용한 장점을 갖고 있으나, 방진의 측면에서는 크게 기여하지 못하기 때문에 방진합금의 개발에는 크게 고려되지 않고 있다.

공명형은, 완화형과 마찬가지로 감쇠능이 진동의 진폭에 의존하는 것이 아니라 진동수에 의존하는 것으로 이 경우 최대 감쇠능은 공명진동수일 때 나타나게 된다. 그러나 이러한 형태의 감쇠능도 방진합금의 측면에서는 그 역할이 크게 중요하지는 않다.

이력형은 외부에서 응력을 가할 때와 응력을 제거할 때의 응력-변형률 경로가 서로 다름으로 인해 생기는 감쇠형태이다. 이때 이력손실에 해당하는 만큼의 에너지가 감쇠의 원인이 된다. 따라서, 이 형태의 감쇠능은 진동수와는 무관하며 변형진폭에 크게 의존하는 특징이 있다. 이러한 이력형은 진동수와 관계없이 큰 감쇠능을 나타내는 경우가 있으므로, 공업적으로 방진효과를 가질 수 있다. 이 종류의 방진합금이 이력손실을 갖는 기구는, 합금의 금속학적인 성질에 의한 것으로 유형별로 보면 1) 복합형 2) 강자성형 3) 전위형 4) 쌍정형의 4가지로 나눌 수 있다[22,23].

2.4 감쇠기구와 대표적인 합금

Table 2에는 각 방진기구의 특징과 이력형에 속하

는 방진합금의 감쇠기구와 그 각각의 대표적인 합금들에 대해 나타내었으며[24~27], 각각의 특징에 대해서는 다음과 같다.

(1) 복합형 방진합금

가. 현미경 조직이 복잡하며, 2상으로 이루어져 있다.

나. 강하고 인성이 많은 기지에 연한 제 2상이 있는 경우, 기지와 제 2상과의 계면에서 소성유동 또는 점성유동이 생기기 쉽게 되어 외부의 진동 에너지가 이들의 유동에 소비되기 때문에 진동이 줄어든다.

다. 기지에 비해 제 2상의 강도가 작고 소성유동이 쉽게 일어나는 것이 중요하다.

라. 큰 감쇠능이 고온에서도 용이하게 얻어진다는 잇점이 있다.

(2) 강자성형 방진합금[28~30]

가. 강자성형 재료는 외부의 응력에 따라 자구벽의 가역적인 이동으로 자기-기계적 이력손실이 생기고, 이것이 진동 에너지를 소모한다.

나. Curie temperature까지 사용할 수 있는 잇점을 갖는 반면, 자장중 또는 정하중하에서 감쇠능 이 저하되는 단점이 있다.

다. 순철의 경우, 냉간가공을 하거나 또는 C, N 같은 침입형 불순물 원자의 함유량이 증가하면 감쇠능이 현저히 감소되는 것이 확인되고 있다. 이것은 전위나 침입형 원자가 자구벽의 이동을 방해하는 결과로 이해할 수 있다.

라. 자구벽의 이동을 용이하게 하기 위하여 특수한 열처리를 거쳐 결정립을 조대화시킬 필요가 있다. 따라서 열처리 비용이 비싸다. 한편, 가공하면 격자결함이 생기거나, 결정립이 미세화되거나하여 감쇠능이 저하되는 단점이 있다.

(3) 전위형 방진합금[31]

가. Granato-Lücke의 이론에 의하면, 전위에 의한 감쇠는 변형진폭에 의존하는 부분과 의존하지 않는 부분으로 나눌 수 있는데, 일반적으로 진동이 문제가 되는 것은 수 Hz에서 가청 주파수의 상한부근인 20 kHz까지로, 이러한 진동수영역에 있어서는 변형진폭에 의존하는 부분이 중요하다.

나. 비교적 작은 응력에서 전위가 이탈할 수 있도록, 약한 고착점을 형성하는 불순물이 최적의 loop길이를 형성하기에 알맞게 적당량 함유되는 것이 필요하다.

다. 이 형태의 방진합금은 가격이 저렴하나, 약 150℃이상에서 사용하면 변형시효(strain aging)가 발생하므로 감쇠능이 상당히 저하되는 단점이 있다.

(4) 쌍정형 방진합금[32,33]

가. 이것은 보통의 기계적 쌍정이나 아닐링 쌍정이 아니라, 마르텐사이트 변태시에 수반되는 미세한 변태 쌍정에 의한 감쇠이다.

나. 강에서 볼 수 있는 마르텐사이트는 일단 마르텐사이트 plate가 발생하면 온도강하에 따라 그것이 성장하는 것이 아니라, 다른 장소에서 마르텐 사이트 plate가 발생하여 변태량이 증가한다. 그러나 Ni-Ti합금 등에서 볼 수 있는 마르텐사이트는 이와는 달리 일단 발생한 마르텐사이트 결정 이 온도의 상승, 하강에 따라 수축하거나 성장한다.

다. 이러한 열탄성 마르텐사이트에 있어서 쌍정경계는 특히 이동하기 쉬우며, 이로 인해 큰 감쇠능을 나타낸다.

라. 이와 유사한 변태 쌍정이 자기변태에 의해서 생기는 특별한경우의 예로서는 Mn-Cu 합금이 있다.

(5) 응력유기 변태형

일반적으로 마르텐사이트 변태는 고온상을 급냉하면 Ms점에서 부터 마르텐사이트가 생성되기 시작하여 Mf점에서 변태가 거의 완료된다. 그러나 Ms 〈 T 〈 Mf점인 온도 T에 급냉하면, 이 온도에서 발생되는 양 상의 화학적 자유에너지차와 마르텐사이트 생성에 동반되는 비화학적 자유에너지가 같을 때까지 마르텐사이트가 생성되어 양 상의 혼합조직이 평형으로 존재하게 된다. 이러한 상태에 반복적으로 응력을 가하면, 양상의 계면에서 모상↔마르텐사이트의 가역적인 변태가 일어남에 의해서 외부에서 가한 에너지를 소모하게 된다.

이 감쇠기구[14]는 본 연구진에서 처음으로 제안한 것으로, 이 기구에 의해서 감쇠능을 나타내는 합금은 Fe-Mn합금이 있다.

Table 3에서는 Fe-17% Mn방진합금의 진동감쇠능(SDC,%)과 기계적 성질 등의 물성치에 대해 나타내었으며, 실용화 가능한 공업적 용도측면에 대해서는 Table 4에 나타내었다.

Fig. 2는 Fe-17% Mn합금에서 진폭변형률에 따른 진동감쇠능의 변화를 보여주고 있다. 변형률이 커질수록 진동감쇠능이 급격하게 증가하고 있는데, 이에 대해서는 외부의 응력이 클수록 γ/ε 계면의 이동이 보다 쉬워지기 때문에 그 만큼 진동감쇠효과가 크다고 생각되며, 이는 앞서 논의된 이력형 감쇠기구의 전형적인 특징인 진폭의존성을 보여주고 있다.

진폭이 클수록 감쇠효과가 더 커지는 이러한 특징은 이 합금의 실용화에 더욱 기대를 걸게 하는 요소이기도 하다.

Table 2 Classification of high damping alloys

Type	Damping mechanism	Alloy system	Example
Natural momposite	Viscous flow (or plastic flow) across phase boundaries between matrix and the second phase	Fe-C-Si Al-Zn	Grey cast iron Rolled nodular cast iron
Ferro-magnetic	Magneto-mechanical static hysteresis due to irreversible movement of ferromagnetic domain-walls	Fe and Ni Fe-Cr Fe-Cr-Al Fe or Ni base	T.D. Nickel 12 % Cr-steel Silentalloy Gentalloy
Dislocation	Static hysteresis due to the movement of dislocation loops breaking away from pinning points by impurity atoms	Mg Mg-0.6 % Zr Mg-Mg_2 Ni	KIXI alloy
Twin-boundary (or phase boundary)	Movement of internal twin boundaries in thermoelastic martensite or movement of the interface between he martensite and the high temperature phase	Mn-Cu Mn-Cu-Al Cu-Al-Ni Cu-Al-Zn TiNi	Sonoston IIncramute

Table 3 Mechanical properties of Fe-17 % Mn alloy

	Fe-17 % Mn alloy
Tensile strength (kg/mm^2)	more than 70
Yield strength (kg/mm^2)	more than 35
Elongation (%)	38
Hardness (HR_B)	more than 92
Charpy impact energy (J)	197.5
Thermal expansion coefficient (α)	1.84×10^{-5}/℃
Gravity (g/cm^3)	7.7
Specific damping capacity (%)	more than 30

Table 4 Example of practical uses

Field	Example of uses
Flight & space vehicle	Gyrocompass, engine cover and turbine blade for rocket, missile, jet plane, etc.
Automobile	Car-body, diskbrake, rotary part of engine, transmission, air-cleaner, cylinder-head cover, timing-gear cover or head cover, floor, dash-panel, roof, door or door-beam, etc.
Machinery	Press, chain-guide or gear for chain-conveyer, generator, air-blower, compressor, etc.
Engineering & construction	Rock drill for a bridge, expansion Joint, steel reinforcing and steel frame for a skyscraper, etc.
Railroad	Rail, crossing rail, railroad bridge, soundproof wall, structural material for subway, etc.
Ship	Rotary part of engine, screw, etc.
Electronic product	Air-conditioner, washing machine, audio speaker, spring, refrigerator, etc.
Office automation	Typewriter, punch, etc.

3. 실험방법

3.1 시험품제작

격납용기 살수펌프의 Basement(Pump Out Board, Pump In Board, Motor Support, Shim Plate)시작품제작을 위하여 목형을 제작하였으며, 이 목형을 바탕으로 주물사에 규산소오다를 혼합하여 이를 보통의 조형법과 같은 방법으로 조형하고, 여기에 CO_2가스를 통기, 경화시켜 주형 또는 중자를 제작하는 가스경화형 주형의 일종인 CO_2주형을 제작하였다. 시작품제작에 사용된 합금은 대기중에서 500 kg용량의 고주파유도로에서 용해하였으며, 합금의 조성은 Table 5와 같다. 주형에 주입하여 대기중

에서 냉각후, 탈사 및 기계가공을 한 후 진공열처리 (1hr at 1,050℃)를 행하였다.

Table 5 Chemical composition of Fe-Mn alloy (wt.%)

Mn	C	Si	P	S	Fe
17.6	0.02	0.08	0.04	0.03	bal.

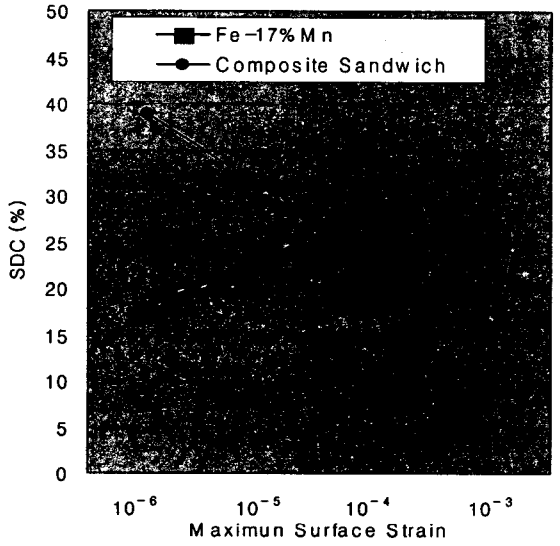
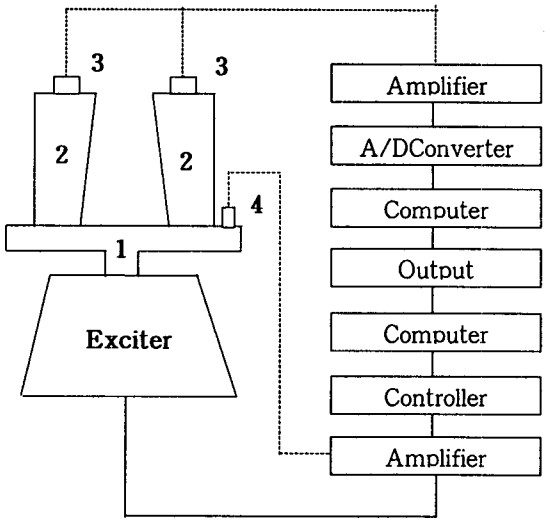


Fig. 2 Variation of specific damping capacity with maximum surface strain in Fe-17%Mn alloy and composite sandwich



1. Fixture
2. Out board support
3. Accelerometer
4. Accelerometer

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

또한, 단품 시뮬레이션 비교실험을 위하여 현재 사용되고 있는 기계구조용 일반탄소강(SC46)으로도 동일한 사양의 시험품을 제작하였다.

3.2 단품 시뮬레이션 실험

현재 격납용기 살수펌프의 Basemene 재질로 사용되고 있는 기계구조용 일반탄소강(SC46)과 Fe-Mn 방진합금으로 각각 제작된 pump out board, motor support 단품에 대해 정현 및 랜덤진동이 가능한 가진시스템(LDS721 model)을 이용하여 시작품 및 비교용 단품의 진동, 주파수특성을 파악하였으며, 주파수 대역별로 진동레벨(mm/sec)을 측정하였다. 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

3.3 현장 대체실험

Fe-Mn 방진합금으로 제작된 Basement(pump out board, pump in board, motor support, shim plate)시작품을 Fig. 4에서와 같이 교체, 설치하였다.

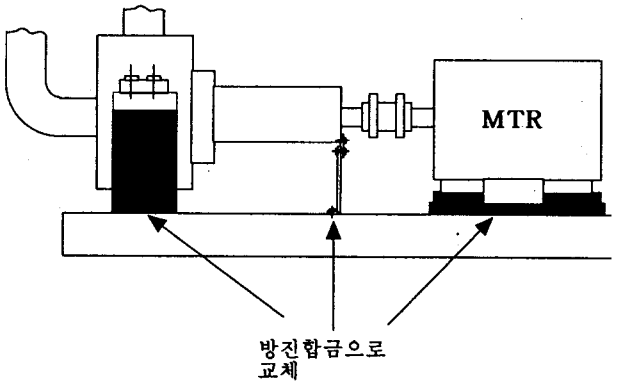


Fig. 4 Schematic diagram of containment spray pump

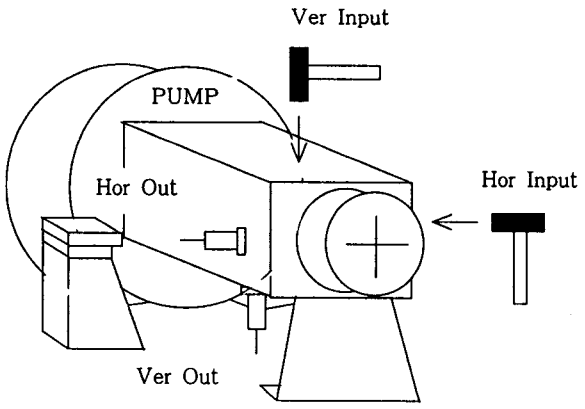


Fig. 5 Schematic illustration of measuring method of C/S pump and motor

설치후 시스템의 고유진동수변화를 측정코자, impact hammer kit (model : GK-291-C20, PCB 社)를 사용하여 수평 및 수직방향에 대해 각각 측정하였으며, 이에 대한 개략도를 Fig. 5에 나타내었다. 또한, 격납용기 살수펌프는 발전소 운전의 특수한 상황 때문에 재순환조건으로 시험되기 때문에 부하시(80 ton/h부하)와 무부하시에 대해서도 진동변위(μm) 및 속도(mm/s)를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 단품 시뮬레이션 실험

현재 격납용기살수펌프의 Basemene 재질로 사용되고 있는 기계구조용 일반탄소강(SC46)과 Fe-Mn 방진합금으로 각각 제작된 pump out board, motor support 단품에 대해 정현 및 랜덤진동이 가능한 가진시스템(LDS721 model)을 이용하여 10, 50, 100, 500, 1,000, 1,500 Hz의 주파수대역에서 진동레벨을 8.2 mm/sec로 가진시키면서 시험한 결과, Table 6에서와 같이 Fe-Mn 방진합금의 단품이 약 2배 정도 우수한 진동감쇠능을 나타내었다.

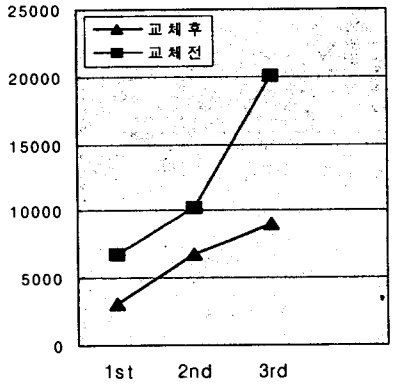
Table 6 Comparison of vibration level in carbon steel and Fe-Mn damping alloy with frequency

부품명	주파수(Hz)	진동레벨 (mm/sec)	
		탄소강 (SC46)	방진합금 (Fe-Mn)
Out board support	10	7.9575	4.5750
	50	7.9425	4.5225
	100	8.0400	4.5450
	500	8.1600	4.5075
	1,000	8.1525	4.5000
	1,500	8.1375	4.5075
Motor support	10	8.1000	4.9950
	50	8.1000	5.0700
	100	8.2050	5.0625
	500	8.2575	5.0475
	1,000	8.2275	5.0175
	1,500	8.1900	4.9050

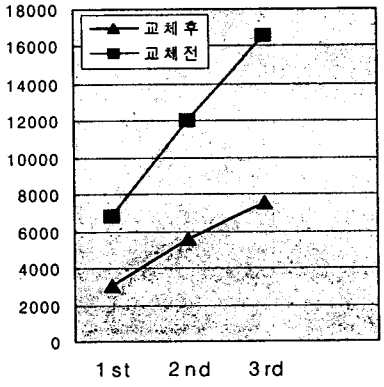
4.2 현장 대체실험

전체 시스템의 Basement를 Fe-Mn 방진합금으로 교체후 impact hammer kit로 측정함수[$H/(\omega) = X/(\omega) / F/(\omega)$]를 사용하여 Basement 교체 전·후의 고유진동수 변화를 수직, 수평 각 방향별로 측정한결과, Fig. 6에서와 같은 결과를 나타내었다.

Pump horizontal 방향의 고유진동수는 1, 2차 mode에서는 약 3,000 CPM정도의 차이를 나타내다가 3차 mode에서는 11,140 CPM의 급격한 차이를 나타내었으며, Pump vertical 방향의 고유진동수는 1, 2, 3차 mode에서 직선적으로 비례하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 Basement 교체후 고유진동수 변화원인에 대해서는 일반탄소강과 Fe-Mn 방진합금의 진동감쇠(specific damping capacity)와 강성(stiffness)차이에 따른 영향으로 생각된다.



(a) Horizontal



(b) Vertical

Fig. 6 Comparison of resonant frequency with changing the support

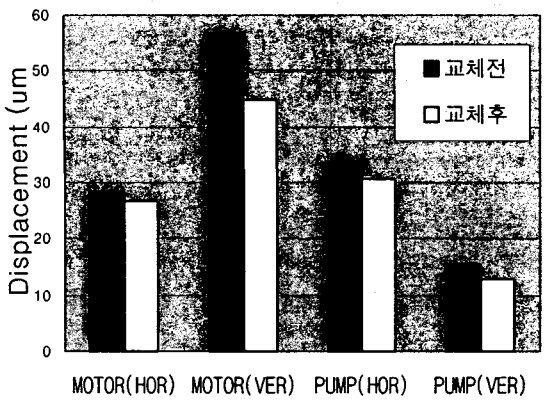


Fig. 7 Comparison of displacement with changing the support in 80 ton load test

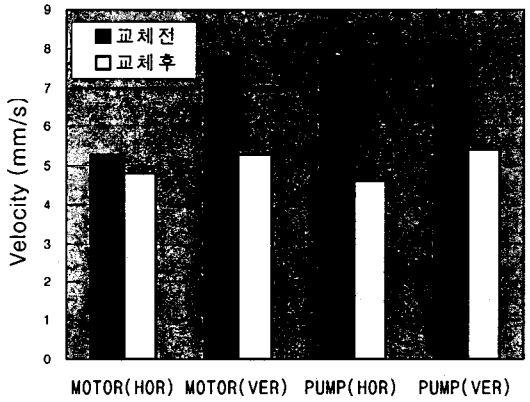


Fig. 8 Comparison of velocity with changing the support in 80 ton load test.

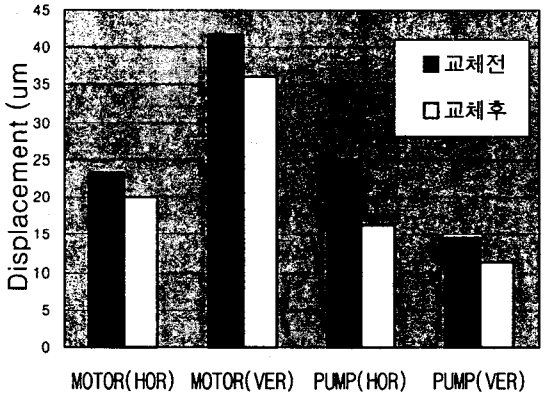


Fig. 9 Comparison of displacement with changing the support in no-load test

또한, 재순환조건으로 부하시(80 ton/h부하)와 무부하시에 대해서도 진동변위(μm) 및 속도(mm/s)를 측정한 결과, Fig. 7, 8, 9, 10에서 나타낸바와 같

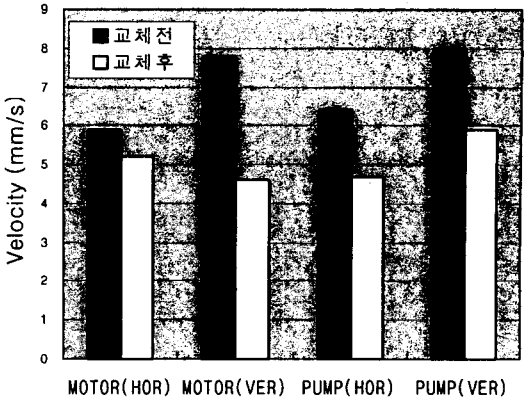


Fig. 10 Comparison of velocity with changing the support in no-load test

이 Fe-Mn 방진합금으로 교체한 경우에는 진동경보값(8.26 mm/sec) 이하에서 운전되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 펌프인 경우 고유한 자체적인 포함성분이나 일반적으로 유체흐름을 방해하는 저항성분이 있거나, impellar가 casing에 편심되어 있을 때 이 성분이 커지게 되며 본 펌프는 발전소 운전상 재순환 조건으로 시험되기 때문에 BPF진동(날개통과주파수진동)이 발생되는 것으로 추정되어 80 ton으로 재순환 유량을 조절하여 펌프측 진동을 측정한 결과이다.

5. 결 론

본 연구에서는 회전기기의 진동저감화를 추진하고자 고리원자력발전소 1호기 격납용기 살수펌프의 Basement를 저자등이 이미 개발한 진동감쇠능이 우수한 철계 방진합금(Fe-Mn alloy)을 적용하여 진동특성을 분석, 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 현재 격납용기 살수펌프의 Basement 재질로 사용되고 있는 기계구조용 일반탄소강(SC46)과 Fe-Mn 방진합금으로 제작된 단품시험품에 대해 가진기를 이용하여 실험한 결과, Fe-Mn 방진합금의 단품이 약 2배정도 우수한 진동감쇠를 보였다.

(2) 다른 진동변화요인을 배제하고 단순히 펌프 및 전동기의 Basement만 대체실험한 결과, 펌프의 재순환 유량에 따라 약간의 차이는 보이지만, 전반적으로 3~4 mm/sec의 진동개선효과가 확인되었다. Fe-Mn 방진합금의 높은 진동감쇠능을 이용하여 보조계에서 본계로 진동전달성을 줄이는 방법, 즉 material damping을 이용한 회전기기의 진동저감화

에 대한 실효성 확인이 되었으며, 향후에도 진동저감을 위한 방진합금 적용시 진동특성을 체계적으로 분석 및 평가하는데 중요한 결과라 사료된다.

후 기

본 연구는 1997년도 한국전력공사 간이연구개발과제의 연구비 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드리는 바이다.

참 고 문 헌

(1) R.de Batist, 1983, "High Damping Materials Mechanism and Application", Journal de Physique, 44, pp. c9-39～c9-50.

(2) A. S. Nowick, 1977, "Anelasticity : An Introduction", Vol.6, Part A, pp. 1～28.

(3) 佐佐木雄貞, 遠藤, 1984, "騷音・振動制御用制振 材料", 鐵と鋼 70, pp. 166～171.

(4) 杉本孝一, 1974, 鐵と鋼, 14, 127.

(5) 川邊尙志, 粲原改造, 1980, 日本金屬學會誌, 44, 776.

(6) X. W. Wang, 1989, Scripta Metallurgica, 23, 507.

(7) A. V. Siefert and F. T. Worrell, 1951, "The Role of Tetragonal Twins in the Internal Friction of Copper-Mangnaese Alloys", J. Appl. Phys., Vol. 22, pp. 1257～1259.

(8) K. Sugimoto, 1981, "Internal Friction Phenomena Associated with Diffusionless Phase Transformation in Alloys", Journal de Physique, 42, c-971.

(9) 日本 鋼管株式會社, Cat. No. 131-031, NKK SERENA, 新しい 制振合金.

(10) I. B. Kekalo, 1986, "High Damping Alloys", in "Encyclopedia of Materials Science and Engineering", Vol. 3, Pergamon Press, pp. 2127～2131.

(11) O. Mercier, K.N.Melton and Y.de Preville, 1979, "Low-Frequency Internal Friction Peaks Associated with the Martensite Phase Transformaton of NiTi", Acta Metall., 27, pp. 1467～1475.

(12) C. S. Choi and Woojin OSK Corp., 1992, 1994, Korea Pat., No. 057437, U.S. Pat., No. 5290372.

(13) S. H. Baik, 1995, "Effects of carbon content on Damping Capacities and Mechanical Properties of Fe-17wt% Mn Martensitic Alloy", CAMP-ISIJ Vol. 8, p. 690.

(14) C. S. Choi, J. D. Kim, T. H. Cho, S. H. Baik and G. H. Ryu, 1992, "Damping capacities in Fe-X% Mn Martensitic Alloys", Proc. of ICOMAT-92, pp. 509～514.

(15) 백승한, 오영선, 지광구, 최종술, 1996, "Fe-17%Mn-X%C 마르텐사이트 합금의 진동 감쇠능에 미치는 시효의 영향", 대한금속학회지, Vol. 34, No. 5.

(16) S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee, M. C. Shin and C. S. Choi, 1995, "Effects of Carbon Content and Cold Working on Damping Capacity and Mechanical Property of Fe-17%Mn Martensitic Alloy", JOURNAL DE PHYSIQUE IV, Volume 5, C8-391～C8-396.

(17) 백승한, 1995, "Development and Application of High Mn Damping Alloy", 대한금속학회 춘계발표대회 개요집, pp. 63.

(18) 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술, 1996, "Fe-17wt%Mn 합금의 진동감쇠능에 미치는 탄소와 티타늄 첨가의 영향", 열처리공학회 지, Vol. 9, No. 1, p. 53.

(19) 백승한, 김정철, 지광구, 최종술, 열처리공학회지, Vol .8, No. 2, pp. 113～119.

(20) 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술, 열처리공학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 197～204.

(21) A. W. Cochardt, 1956, "High Damping Ferro-Magnetic Alloys", Trans. AIME, pp. 1295～1296.

(22) B. D. Cullity, 1972, "Introduction to Magnetic Materials", Addison Wesley, pp. 248～286, pp. 442～487.

(23) T. Hirone, N. Kunimoto and M. Abe, 1955, "The Mechanism of Internal Friction due to the Motion of Dislocation", J. Phy. Soc. Japan, Vol. 10, pp. 960～966.

(24) 島林昭治, 1982, "防振合金", "未來を拓く 先端材料", 工業調査會.

(25) Hadfields Limited, 1956, "Manganese Steel", Oliver and Boyol, London.

(26) Y. Tsumoda and N. Wakayabashi, 1981, J. Phys. Soc. Japan, p. 3341.

(27) V. E. Mckelvey, N. A. Wright and R. W. Rowland, 1979, Marine Geology and Oceanography

of the Pacific Manganese Nodule Province, New York, Plenum.

(28) Z. Nishiyama, 1978, "Martensitic Transformation", Academic Press, New York, 216.

(29) L. C. Brown, 1979, "The Fatigue of Pseudoelastic Single Crystals of -Copper-Aluminum-Nickel", Met. Trans., 10A, 217.

(30) K. Otsuka and K. Shimizu, 1981, "Metals having memory nature", Metals Forum, 4, 142.

(31) K. Otsuka and M. Wayman, 1976, "Superelasticity Effects and Stress-Induced Martensitic Transformation in Cu-Al-Ni alloys", Acta Met., 24, 207.

(32) J. R. Patel and M. Cohen, 1935, "Mechanical Driving Force of Martensitic Transformation", Acta Met., 1, 531.

(33) G. B. Olson and M. Cohen, 1976, "Thermoelastic Behavior in Martensitic Transformations", Met. Trans., 7A, 1987, 1905 and 1915.