

ER유체(Electrorheological Fluid)의 기전요소 응용

김 창 호

한국과학기술연구원

1. 서 언

ER 유체(Electrorheological Fluid: ERF), 과연 Tribology에 관련된 우리에게 어떠한 도전과 새로운 가능성을 줄 것인가? 80년대 후반들어 갑자기 새로운 가치와 가능성에 대한 조명을 다시금 받게된 ER 유체는 우선 국내에서는 물론 일본에서조차 번역에서의 정확한 명칭이 분분할 정도로 아직 국내에서는 생소한 분야이다. 이웃 일본에서는 ER 유체, 전기점성 유체, 전기레올로지 유체, 일렉트레올로지 유체, Winslow 유체라고 불려지고 있고 우리나라에서는 전기유변성유체라고도 불리운다. ER 유체는 전장율 가함으로써 점도를 변화시킬 수 있는 콜로이드 용액의 총칭으로, 절연성 유체 중에, 이러한 성질을 갖는 미분말을 분산시킨 것이다. 이 유체의 특징으로는 전장으로 점도의 변화를 제어할 수 있고, 점도를 변화시킬 수 있는 범위가 넓고, 또한 응답성이 좋은 것에 있다. 80 년대에 들어 서면서, 전자기술의 급속한 발전으로 이 ER 유체의 장점에 ER유체의 단점을 보완할수 있는 응답성이 빠른 전자 제어 기술의 출현은 바로 이 ER유체의 최대 난점들을 해결할 수 있는 가능성을 제시하면서 급속한 인기를 더해 가고 있다.

이러한 배경에서 국내에서도 이 분야에 대한 연구의 필요성이 대두됨에 따라 본 해설에서는 국외 논문, 국제 학술회의 논문집, 해설등을 통하여 발표된 ER 유체에 대하여 알아 보고 이를 적용한 기전요소에서의 응용에 대하여 살펴보기로 한다.

2. ER 유체

2.1 ER 유체의 역사

유체가 전장하에서 점도를 변화 시키는 현상은, 일반적으로 전기점도성 효과라고 불리워지고, 1800 년대 말에 균일 유체에 대하여 보고되었다. 1932년에 Bjornstahl에 의해 콜로이드 용액에 대한 전기점성효과(ER효과)에 관한 보고가 처음 행하여 졌으며, 1947년에 미국에서 Winslow가 ER 유체 제조에 관한 특허 신청을 하고, 기계 공학에서의 응용법을 제안하였다. 1967년에 Klass 와 Matnek이 ER 효과에 관한 통계적 검토를 한 논문을 발표한 이후 세계 각국에서 ER 효과가 주목을 받게 되었다.

1970년대와 1980년대에 걸치는 동안 영국, 미국, (구)소련, 일본등 몇개의 대학이나 정부 연구 기관을 중심으로 활발히 연구가 진행되어 왔으나, 물질의 불안정성은 ER 유체의 여러가지 장점에도 불구하고 산업체로의 광범위한 적용에 결정적인 걸림돌로 대두되었다. 이러한 불안정한 유체의 단점을 뛰어 넘는 새로운 재료의 개발에 투자하면서도 한편으로는 보유하고 있는 ER유체를 가지고 여러가지 아이디어를 담은 장치가 개발하는 과정에서의 여러가지 난관에 봉착한 나머지 많은 연구 개발 기관에서 중도 하차하는 쓰라린 경험을 맛보았다. 그러나, 80년대 말부터 현재까지 불안정 영역을 뛰어 넘는 새로운 재료가 속속 개발되고, 마이크로 컴퓨터의 급속한 발전은 재료에서의 문제점을 보완할 수 있는 촉매제로의 역할을 충분히 하기에 이르러, 바야흐로 ER 유체는 새로운 전기를 맞이하게 되었다.

2.2 ER유체의 특성

ER 유체는 콜로이드 용액의 일종으로, 절연성 오일에 미립자를 분산시킨 것이다. ER유체는 매우 독특하여, 전류를 가하면 순간적으로 겔 상태의 고체로 변환하며, 전류를 제거하는 순간 액체 상태로 돌아간다. 이는 0.0001초 내지 0.001초 사이에 순간적으로 발생한다. 또한 고체화 상태는 전압을 변환함에 따른 전장의 세기에 비례하고 액체 상태에서 고체 상태로의 변환 및 역변환이 자유로우면서도 즉시 가능하다. 유체는 거의 모든 오일 형태 중에서 선택할 수 있으며 미립자는 전분, 셀룰로즈 같은 유기물이나 세라믹, 유리와 같은 무기물, 또는 각종의 고분자 화합물로 구성되어 있다.

수십년간에 이르러, 이분야에 있는 연구자들은 수백개의 ER효과를 내는 유체/미립자 조합을 발견하기에 이르렀다. 그러나, 이들은 시행착오에 의한 결과이지 아직도 정확히 ER 유체의 거동 형태에 대하여는 불확실하며 어느 하나 명확한 이론이 정립되어 있지 않다. 현미경하에서 ER유체에 대한 전장의 효과는 확실히 볼 수 있다. 유체는 직경 0.1 내지 100 마이크로미터 크기의 미립자의 분산으로 이루어져 있다. 전장이 없을 때는 미립자는 '절연 액체에 골고루 분포되어 있으나 유체가 높은 전압의 전극 사이에 놓이게 되면 미립자들은 한 전극으로부터 다른 전극으로 뺄어나가는 섬유질 상태로 정렬하게 된다.

대부분의 과학자들은 ER효과를 발생시키는 것은 전장에 의한 미립자의 양극화에 의한 것이라고 믿고 있다. 전장을 가하면 고전압 전극은 양전하를, 접지 전극은 음전하를 띄게 된다. 그 반응으로, 미립자에의 양 및 음 전하는 분리되어, 양전하를 음 전극에 가까운 쪽으로, 음 전하를 양 전극에 가까운 쪽으로 미립자의 방향을 정렬 시킨다.(Fig. 1) 그러면 미립자들은 체인형태로 서로 접촉하면서 양과 음 끝으로 정렬하게 된다. 체인이 전단력을 받게 되면,

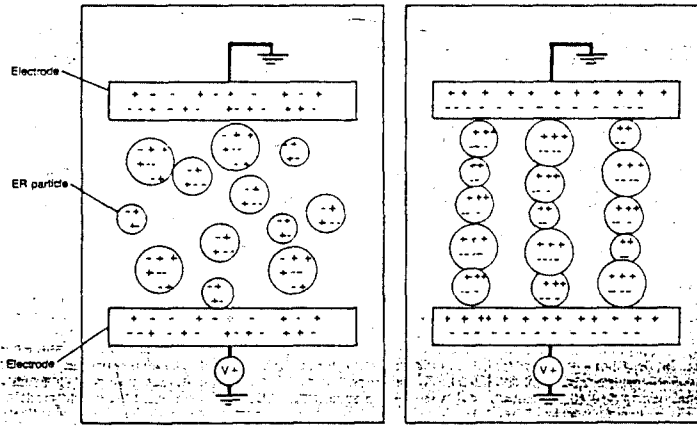


Fig.1 Polarized particles

미립자들은 서로 떨어져지만 아직도 극들은 서로 끌어 당긴다. 한 이론에 의하면, 이 견인력이 ER효과의 기초가되며, 전단저항으로 나타난다고 한다. 전압의 세기는 미립자 사이에 움직이는 전하량을 결정하며, 따라서 직접적으로 전단저항에 비례한다. 체인들이 그들 사이의 견인력을 능가하는 힘으로 물리적으로 견인되었을 때, 그들은 파괴되고, 재 형성되고, 다시 파괴되는 과정을 반복한다. 항복 강도는 이 재형성과 파괴되는 과정이 평형을 이루는 상태를 말한다. 전하가 제거되면, 전하들은 더 이상 미립자들에서 분리되지 않고, 유체는 무전하 유동 특성을 회복하게 된다. 많은 연구자들에게 인정된 이러한 모델에 따르면, 수분이 ER효과에 필수적이지 않으리라고 짐작된다. 필요한 것은, 미립자와 용제가 서로 다른 유전 상수를 가지기만 하면 된다. 예를들어, Stanford 대학 및 Illinois 대학등의 공학자들에 의해 ER 유체를 서로다른 유전상수를 갖는 고체 입자가 균일한 액체에 부유하는 수학적 모델로 개발하였다. 이들 모델은 ER유체가 얼마나 고체화되겠는가에 대하여 예측하는데에는 실패하였으나 앞으로 입자의 표면조도, 형상, 크기등의 물리적 인자들을 포함함으로써 수정을 가할 수 있으리라 본다.

위의 양극화 모델에 대하여 비판적인 자들은 양극화된 입자들 사이의 전기력은 너무 작아 ER효과를 설명하기에는 부족하다고 주장한다. 대신에, 어떤 연구자들은 그 힘의 원천은 입자사이에 존재하는 물분자에 의하여 강력한 브릿지가 형성된다는 것이다.이 모델에 의하면 가장 중요한 요인은 유체 속에 존재하는 수분의 양이다. 물 분자들은 이온 주위에 모여드는 성향이 있으므로, 이동하는 이온들은 그들과 함께 물을 지니고 다닌다. 입자의 끝에는 모집된 물 분자들이 인근 입자들에 "물브릿지"를 형성하여 두 입자가 접합하도록 한다. 전장이 사라지면 물분자는 입자 속으로 사라지고 브릿지는 사라진다.입자 양극화

모델을 옹호하는 자들은 수분이 유체 안의 입자들의 양극화 경향을 증가시킨다고 생각한다. 예를 들어, 입자 표면에 붙어 있는 물 분자들은 물이 쉽게 극화되기 때문에 유전 상수를 매우 증가 시킬 수 있다고한다.

그러나, 또 어느 그룹은 ER효과를 나타내기 위한 물의 중요성에 대하여 반대하기도 한다. 또 다른 하나의 이론에 의하면 전장의 효과는 유체가 흐름 때 발생하는 입자들이 회전하는 것을 방해하는 것으로 나타난다고 한다. 이것이 유체를 좀더 점성이 있게한다고 주장한다.

위와 같이 살펴 본대로 어느 이론 하나 ER유체의 현상및 특성을 명확히 설명하지는 못하고 있다.현재까지 고려되어지고 있는 ER효과의 메카니즘으로서 유력한 것으로 Fig. 2에 보인 것과 같은 접근 방법이 있다. 즉, 전극 사이에

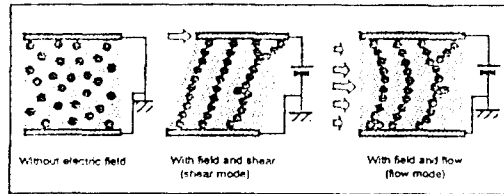


Fig.2 Mechanism of ER effect

전압을 가하였을 때, 분산 입자의 사슬이 다수 형성되어, 이 입자의 사슬이 전극의 전단적 거동에 저항을 보이기도 하고 전극 사이의 흐름에 대한 저항을 증가시키는 것이다, 사실 현미경하에서 관찰을 하면, 이러한 사슬이 다수 형성되어 있는 모양이 여러 논문에서 밝혀지고 있다.여기서 Klass와 Matinek에 의하여 밝혀진 ER유체의 특성을 몇가지 살펴 보면

(1) 전장 강도, 전단 속도의 영향

Fig.3에 전단 속도를 변화 시켰을 때의 전장 강도와 겔보기 점도의 관계를 보인다. 전장의 강도에 따라 점도는 지수 함수적으로 증가하고, 그림에서는 100배 정도 점성 효과가 증가한다. 또한 전단 속도를 크게 함에 따라 ER효과는 감소하고 있다.

(2) 입자의 함유율의 영향

Fig. 4에 입자로서 실리카겔의 분말을 이용한 경우의 체적함유율이 ER효과에 미치는 영향을 나타내었다. 함유율을 크게할 수록 ER 효과는 크게되는 것을 알수있다. 그러나, 마모에 대하여 매우 불리한 입자를 사용하는 경우 함유율을 크게 할 수록 기계 요소의 표면 손상에 대한 대책이 요구되어 진다.

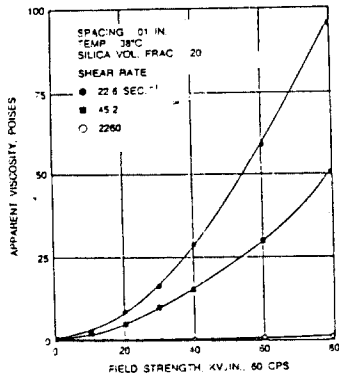


Fig. 3 ER effect (shear rate effect)

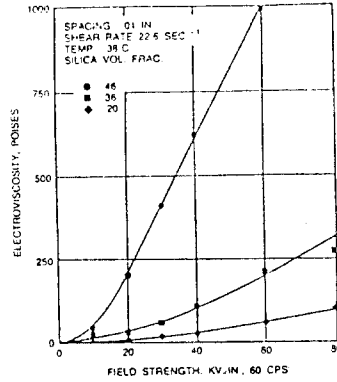


Fig. 4 ER effect (particle volume fraction effect)

(3) 온도의 영향

ER유체의 실용화에 당면하여, 중요한 문제점의 하나로 들 수 있는 것이 온도에 대한 안정성이다. 일반적인 경향으로써, 온도가 어느 정도 높게 되면 Fig. 5에 보인 것과 같이 ER효과는 커지게 된다. 그러나, ER 유체에는 일반적으로 수분이 포함되어 있어 섭씨 100도를 초과하게 되면 유체의 조성이 변화해 버려 ER 효과가 급격히 감소하게 된다. 이 대책으로써, 비수계 ER 유체의 개발이 현재 왕성해 지고 있다.

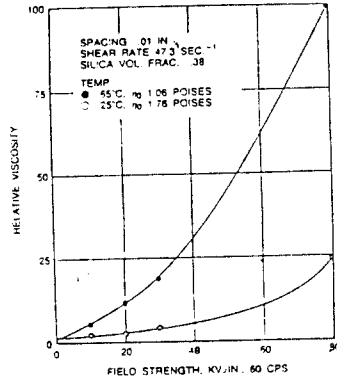


Fig. 5 ER effect (temperature effect)

2.3 ER유체의 요구조건

수분의 역할은 매우 중요하여 많은 ER유체는 건조할 때 작동하지 않으며 물이 첨가되었을 때 훨씬 작동을 잘한다. 초기 개발 단계의 ER유체는 광물성 오일과 전하분리를 위하여 물을 함유한 전분 이나 실리카 입자를 기본으로하고 있다. 그러나, 물의 함유는 고온에서 특히 입자와 입자 사이의 전하 흐름을 증가 시킨다. 결과적으로 섭씨 100도 이상의 온도에서 수분에 의존하는 ER유체는

불안정하거나 예측 불가능하다. 더구나, 물의 입자로부터의 분리는 ER유체를 사용하는 장치를 부식시킬 수 있다.

ER유체의 개발 단계에서 또 다른 장애물은 유체가 어느정도 조용히 움직이지 않을 때 입자가 침전하는 경향이 있다는 것이다. 침전 시간은 입자/유체 조합과 장치 구성등에 따라 수 시간에서 수일 까지 이다. 침전은 입자의 크기의 조정과 입자 상호 작용과 뭉치는 것을 방해하는 활성제의 사용으로 어느 정도 조절할 수 있다. 다른 안정화 기술은 액체의 밀도와 입자의 밀도를 일치하게하는 데 있다. 그러나, 이는 어떤 유체에 대하여 사용될 수 있는 입자의 선택에 매우 심한 제한을 주며 매우 제한된 온도 범위에서만 잘 작용한다.

요리용 오일에 옥수수 전분을 섞은 것과 같은 간단한 ER유체를 만드는 것은 쉽지만, 상업적으로 이용 가능하려면 위에서 적은바대로 몇가지 문제점을 극복하여야한다. 첫째로, 시일이나, 베어링등 주요 기계 요소를 손상시키는 마모 재료를 포함하지 않아야한다. 둘째로, 어느 이유에서든 침전하는 입자를 포함하지 않아야 한다. 셋째로, 매우 안정적인 온도 특성을 가져야하고 주어진 전기장에 대한 우수한 주파수 응답을 가져야 한다. 넷째로, 상대적으로 낮은 전장세기에서 좋은 ER효과를 가져야 한다.

일반적인, 수분을 포함하는 ER 유체의 대부분은 이러한 요구 조건을 만족하지 못하고 있다. 예를 들면, 온도가 섭씨 6 도 정도 상승함에 따라, 전기 전도성이 두배로 증가하여 매우 큰 전력을 소모하게 된다. 이러한 유체들은 매우 온도에 민감하여 사용 상한온도가 섭씨 80도 정도 이다. 마지막으로, 사용가능한 ER 효과를 보기위하여는 매우 큰 전압구배(전형적으로는 2 내지 4 kV/mm)가 요구되어지고 대부분의 유체의 전단 강도가 많은 실질적인 적용을 위하여는 부적절하다.

이러한 매우 심각한 결함에도 불구하고, 유럽, 일본, 미국등의 여러 회사들은 ER 유체를 기본으로한 장치를 개발하는 데 수백만 달러를 투자해 오고 있다. 최근에, 그들 중 많은 회사들은 이용 가능한 유체들의 가격 하락과 마이크로 프로세서 제어와 고전압 전력 공급 장치의 능력이 상승함에 매우 고무되어 있다.

3. 새로운 기전요소에서의 응용

개선된 밸브, 클러치, 브레이크, 댐퍼등에 연간 200억불 시장을 내다보는 전세계의 관련된 회사들은 어떤 진전이 있을 때 신중히 비밀을 유지한다. 일본과

(구)소련등으로 부터의 논문 발표가 1980년 부터 갑자기 없는 것을 보면 이를 짐작할 수 있다. 이러한 ER 유체를 응용한 실제의 장치에 대해 연구해 나가면서도 그래도 아직 까지 중요한 연구는 적절한 입자/유체의 조합에 집중되어 있다. 여기서는 여러 문헌에 나타나 있는 재료의 개발 및 응용 장치에 대하여 정리하여 보았다. ER 유체의 응용 분야는 여러 분야에 걸쳐 가능하다고 생각되어 지지만, 현재 가장 정열적으로 진행되어 지고 있는 분야가 진동 제어 기기 분야 및 밸브등 액츄에이터에의 응용이다. ER 유체를 가변 감쇄기에 적용하는 데에의 이점은 기본적으로 점도를 갖고 있으므로 back-up 용 장치가 불필요하다는 것에 있다.

3.1 차량용 shock absorber에의 응용

차량의 shock absorber의 특성을 제어 하려는 시험은 예전부터 행하여져 왔고, 몇개의 형식이 제안 되어 이미 실용화되고 있다. 그 목적은 조종 안정성의 향상과 승차 기분의 개선에 있다. 그러나, 종래 사용되고 있는 형식은 기계적인 조작용 필요로하는 것이 많고 응답성 면에서 불충분하다. Fig. 6는Morishita 와 Ura에 의하여 시도된 shock absorber의 모형도 이다. 피스톤 부에 전극이 접속되어 있고, ER유체로 충전된 실린더 내를 로드의 움직임에 따라 전극이 왕복 운동한다. 이 때, 전극에 가한 전압을 변화시킴으로써 감쇄력을 제어하고자 하는 것이다. Petek등은 ER유체를 이용한 shock absorber를 개발하여 실차에 탑재시켜 실험을 행하고 있고, 형식은 종래의 것과 거의 변화가 없으면서도 성능은 종래의 것을 능가하고 있다.

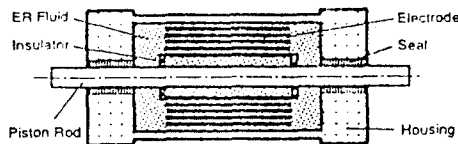


Fig. 6 ER fluid for shock absorber

3.2 회전 기계용 squeeze film damper(SFD)에의 응용

터보기계로 대표되는 회전부를 갖는 기계에서는 회전축을 안정화하기 위하여 외부 감쇄를주는 것이 바람직할 때가 있다. 주어야하는 감쇄의 크기는 회전축의 진동 크기에 의존하므로, 회전 중에 감쇄의 크기를 제어함으로써 광범위한 회전 속도에서의 안정화가 이루어 진다. 회전 베어링만으로 지지되어 있는 회전체에서는 미약한 외부 감쇄 밖에 작용하지 않으므로, 통상 SFD가 병용된다. SFD의 제반 특성은 윤활유의 점도와 간극의 크기로 결정되므로 운전 중에 감쇄 특성을 변화 시킨다는 발상에 제한이 있을 수 있었으나, ER유체를 적용함으로써 가능해 진다. Fig 7에 SFD의 개략도를 보인다. 축계의 지지부의 최적 감쇄를 주는 것이 가능해 지고, 지지 감쇄를 제어함으로써 여러개의 위험속도를 최적으로 통과할 수 있게 된다.

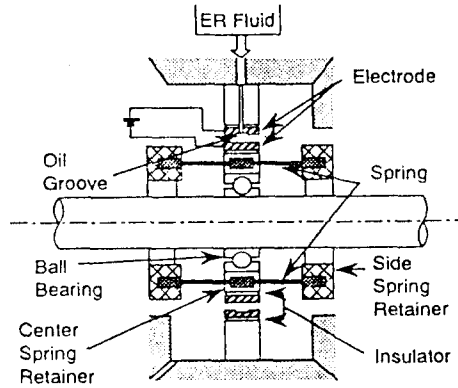


Fig. 7 Controllable squeeze film damper

3.3 가변감쇄형 동흡진기에의 응용

동흡진기는 일반적으로 질량, 스프링과 감쇄기로 되어 있고 구조물에 장착함으로써 역 공진 작용과 감쇄기의 에너지 소모 작용으로 구조물의 진동을 억제하는 것이다. Fig. 8에 가변 감쇄형 동흡진기에 대한 모형을 보인다. 동흡진기는 이중 원통형으로 외축이 질량부에 연결되어 있고 상하에 스프링으로 연결되어 있다. 이중 원통 사이에 ER유체를 유입 시켜, 가한 전압을 변화시킴으로써 감쇄력의 제어를 행한다.

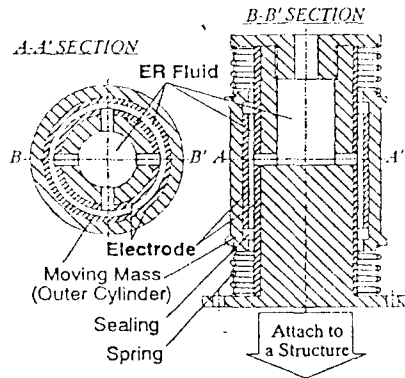


Fig. 8 Controllable vibration absorber

3.4 엔진 마운트에의 응용

현재 응용 분야로서 가장 주목을 받고 있는 분야가 감쇄력을 제어할 수 있는 자동차용 엔진 마운트이다. 구조의 개략은 Fig. 9와 같이 종래의 유체봉입형 엔진 마운트의 일부를 개조한 것이다. 통상은 오리피스의 저항을 이용하여 감쇄력을 발생시키지만, 이것을 전극으로 바꾸어서 전압을 제어함으로써 전극간을 흐르는 ER유체의 저항을 제어하여 감쇄력을 제어하고 있다. 이것에 의해 엔진의

회전수에 따라 또한 가속, 감속에 따라 감쇄력을 제어할 수 있고, 운동 성능 및 정숙성이 대폭 향상되고 있다. 참고로 Morishita와 Ura에 의하여 개발된 엔진 마운트의 개략을 Fig. 10에 보인다.

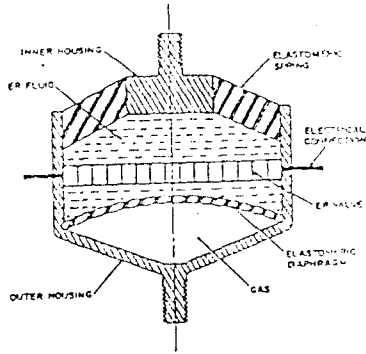


Fig. 9 ER engine mount

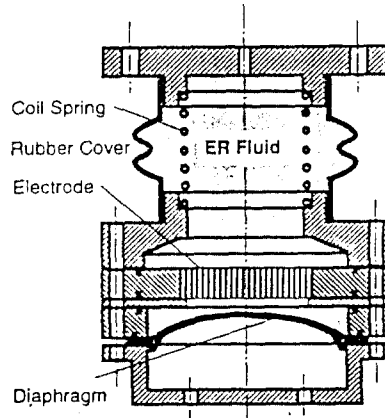


Fig. 10 ER engine mount

3.5 클러치 및 동력전달 장치에의 응용

Fig. 11에 보인 예는 다중무단제어방식 클러치로 인공 손가락의 제어에 응용한 것이다. 축에 고정된 원반과 축회전에 구속되지 않은 가동 원반의 사이에 ER유체를 유입시켜 축을 회전시킴으로써 가동 원반을 따라움직이게 한다. 이때, 원반간에 가한 전압을 제어함으로써 가동 원반의 추종력을 변화시키고 그것에 동반되는 힘을 제어하는 것이 가능하다. 이 힘을 제어함으로써 손가락에 가하는 힘을 변화시키는 것이 가능하며, 인간의 손가락의 움직임에 가까운 인공 손가락을 실현하고자 하였다. 한편 1980년대 말 경, 미시간 대학(Ann Arbor)의

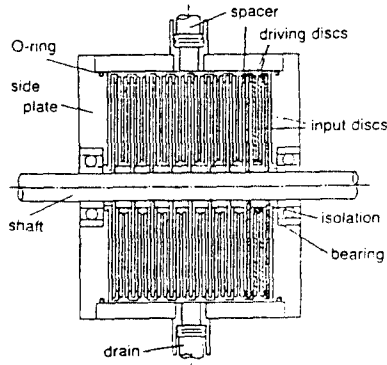


Fig. 11 ER clutch

Frank Filisko교수는 수분이 거의 없는 여러 종류의 ER유체에 대하여 특허를 획득하였다. 수분이 수백만 분의 일 보다 적게 있는 무수성 유체는 알루미늄 실리케이트 세라믹 입자로 이루어져있으며 섭씨 120도 이상에서도 운전

가능하다고 주장한다. Filisko의 주장에 의하면 온도가 상승함에 따라 오히려 성능이 향상된다고 주장하고 있다. 이러한 Filisko의 유체는 그를 재정 지원한 차량 트랜스미션 제작자인 Tremac(Queretaro, Mexico)에게 권리를 양도하였다. 또한, 승용차 및 트럭 부품을 생산하는 크라이슬러의 Acustar 자회사는 이 기술을 4륜 구동차량에 응용하고자 Tremac으로 부터 권리를 양허받았다. Filisko의 주장에 의하면, 현재 거의 상용화되어 지고 있는 다른 ER 가 일 쿼트 당 140 \$ 인 반면 자신의 ER 유체는 일 쿼트 당 3 \$ 정도로 저렴하게 제조 가능하다고 한다.

3.8 벨브에의 응용

1990년 봄경, 미시간 대학(Ann Arbor)의 Transportation Research Institute는 미공군의 재정 지원 하에 새로운 ER 유체에 대한 연구를 시작하였다고 발표하였다. 이 프로그램의 일환으로 Robert Ervin과 Zheng Lou는 미시간 대학의 재료 공학과에서 개발된 ER유체에 대한 비선형성, 광역대에 걸친 매개 변수에 대한 민감도등 응답 성질에 대한 연구를 하고 있다. 이 데이터를 기본으로하여, 그들은 휘트스톤 브릿지로 구성된 일련의 ER 벨브를 고안하고 있는데, 이 휘트스톤 브릿지는 우선은 증폭 벨브로, 추후에 일반적인 벨브로 작동될 것이다. 결과적으로 Ervin과 Zheng은 초당 200 싸이클의 운동을 제어할 수 있는 액츄에이터를 개발하고자 한다. 미 공군은 이 연구에 대하여 관심을 갖고 있는데, 왜냐하면, 이를 이용하면, 비행체의 매우 복잡한 비행 제어 및 비행체 구조물의 구조 진동에 대한 실시간 댐핑이 가능하게 된다.

3.7. 구조물 제진에의 응용

Filisko의 무수 ER유체는 미시간 주립대학(East Lansing)의 지능 재료및 구조 실험실에서 행하는 미육군에 의해 지원 되는 연구의 선행 조건이었다. 여기서, 기계공학과의 Mukesh Gandhi와 Brian Thompson은 응력이 변화함에 따라 날개의 강성을 조정할 수 있는 헬리콥터 날개를 개발 중이다. 이 연구는 조건이 변화함에 따라 물리적 성질을 조절할 수 있는 소위 스마트 재료의 개발 노력중의 하나이다. 이 기술에서, ER유체는 첨단 복합 재료층 사이에 샌드위치되어 진동이나 극한 온도 같은 여러 외부 변화에 대하여 구조가 변화하도록 하였다. 다음 단계는 이 재료들을 센서와 컴퓨터로 이루어진 장치와 연결하여 응력을 감지해 내고 ER 유체의 반응을 자극할 수 있는 전기장을 발생시킬 수 있도록 할 것이다. Gandhi와 Thompson은 또한 급속히 움직이는 로봇 팔이 갑자기 감속할 때 발생하는 진동 문제가 있는 생산 라인을 개선하는 시스템을 개발하고 있다. 센서는 컴퓨터에게 속도 변화를 알리고 컴퓨터는 이때 ER효과를 이용하여 로봇 팔의 강성을 조정할 수 있는 전기장을 제어한다.

3.8 자기 생성형 뉴럴 넷 적용제어계

제어계에 뉴럴네트워크를 채용한다는 생각은, 현시점에선 제어계를 인텔리전트화한다는 목적에 있어서는 최적의 선택 중 하나이다. 또한 ER유체와 같이 비선형성이 강하고, 시간과 함께 변하는 물질을 포함하는 시스템의 제어에 적합하다고 생각되어지고 있다. 여기서 보이는 예는 수중 로봇의 제어계를 위해 개발된 자기생성형 뉴럴넷 적용제어계이며, 그 개략은 Fig.12에 보인다. 이

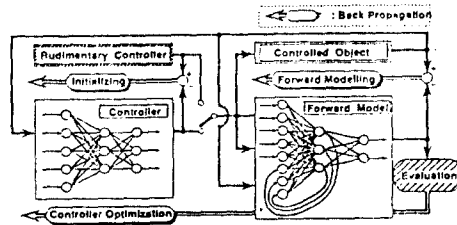


Fig.12 Self-generated neural-net control system

시스템은 기본적으로는 controller와 forward model의 두가지 뉴럴네트워크 및 그의 조절기구로 이루어져 있다. controller network는 제어 대상에의 제어 신호를 생성하는 네트워크이고 또한 forward model네트워크는 제어 대상의 동특성을 흉내내기위하여 준비되고 있다. 이 시스템의 특성은, 우선 forward model에서 제어 대상의 입출력 관계를 학습해서 흉내 낸 후에 forward model과 controller의 네트워크를 마치 하나의 네트워크로써 controller의 학습을 행하는 것이다. 이 순서에 의해, 예를 들어, 제어 대상의 동특성이 파악되지 않은 경우에도, 또한 그 동특성이 시간과 함께 변화하는 경우에도 네트워크가 그것들을 학습해서 소요되는 제어 신호를 on-line으로 발생시키는 것이 가능하다. 뉴럴네트워크를 채용할 때의 문제점은, 학습에 시간이 걸리는 것과 학습의 초기상태에 의해 국소 최적치로 해가 떨어져 학습의 정도를 보장할 수 없는 것등이나, 현재 그 문제점을 해결하려 하고 있고, 학습의 고속화, 고정도화를 도모하고 있다.

3.9 기타 응용 사례

Lord사(Cary, North Carolina)에서는 ER 유체를 이용한 실험적 엔진 마운트, 밸브 및 각종 제진 장치를 개발 중에 있다고 보고되고 있다. 또한, 영국 회사들이 이 분야에서 매우 활동적 이어서, 1980년대 말, Lotus사 (Norwich, England)에서는 4륜 구동 차량을 위한 쌍 튜브 형 프로펠러축을 개발하였는데, ER유체를 사용함으로써 대부분의 현용 유체의 문제점인 낮은 전단력에 대한 문제를 해결하였다고 주장한다. 실제적으로, 각 바퀴의 구동축은 헨가 시스템에 전자적으로 연결되어서, 각 바퀴의 센서는 헨가 장치의 무게를 감지하여 그의 특성을 변경시킨다. 센서로부터의 신호는 각 구동 축의 ER유체 동력원에

보내어져서 토크를 변경하도록 되어 있다. ER Fluid Developments 사 (Sheffield, England)에서는 회사 창립자인 James Stangroom에 의하여 기존의 시스템의 한계를 극복하여 섭씨 150도 까지 작동할 수 있는 일련의 유체를 개발하였다고 주장한다. Stangroom는 ER유체가 두 클러치 판 사이에 샌드위치되어 한 판이 다른 판에 동력을 전달할 수 있는 와이어 인장장치에 대한 실제 적용 실험을 시행하고 있다고 한다. 와이어의 인장력이 변화함에 따라 판 사이에 적용되는 전압이 유체의 강성을 가감하여 토크의 전달력을 변화 시킨다. 이렇게 함으로써 이 장치는 스피드에 감겨 있는 와이어의 인장을 일정하게 유지할 수 있다. 또한 1980년대 말 경, Cranfield Institute of Technology (Bedford, England)에서는 5% 이하의 수분을 함유하는 ER유체를 설계하였다고 발표하였다. 고분자 입자를 함유한 유체는 섭씨 200도 까지 사용할 수 있다고 주장한다. 마지막으로, 영국의 Aldershot 군사기지 근처의 방산업체인 Airlog사는 1980년대말 부터 British Technology Group에 의하여 특히 출원된 ER유체를 제조 및 판매를 하여 왔다. 특히, 이 회사는 자동차의 제진용 마운트, 로봇 밸브, 의료용 기구들을 개발하고 있다.

4. 결론

이제 까지 살펴본 대로, 전세계적으로 ER유체에 관한 구조, 성질, 관련 기술과 응용 예등 어느 하나 완벽한 상태가 아니다. 다행히, 80년대 말 이후, 급속한 전자 기술의 발전으로 새로운 가능성을 보이고 있고, 새로운 재료의 개발과 아울러 이를 효율적으로 제어할 수 있는 장치들의 출현 가능성이 더해지면서, ER 유체의 가치를 다시금 돌아 보게 되었다. 끝으로, 꾸준한 ER유체의 개발과 아울러, 이를 응용한 제품의 개발에 매우 시사하는 바가 큰, 영국 Advanced Fluid Systems사의 Douglas Alan Brooks 가 주장한 ER유체 응용 장치의 상용화에 있어서의 두가지 면을 지적하고자 한다. 하나는 상용화 개발 시의 기술적 경제적인 위험요소를 줄이라는 것과, 다른 하나는 유체의 한계를 극복할 수 있는 창의적인 설계를 하라는 것이다. 우리나라에서도 학계, 연구계, 산업계에서 아직 세계적으로 상용화에 문제가 많은 ER 유체 응용 분야에 창의적인 아이디어가 특히로써 제안되어 무궁한 발전 가능성이 있는 ER유체 분야에서 우리나라 기술의 진 일보를 이룩하기 바란다.

참고문헌

1. Tao, R. and Roy, G.D., 1994, Electrorheological Fluids, Mechanisms, Properties, Technology, and Applications, World Scientific

2. Tao, R., 1992, *Electrorheological Fluids, Mechanisms, Properties, Structure, Technology, and Applications*, World Scientific
3. Morishita, S. and Ura, T., 1992, " ER유체를 이용한 Intelligent 제진 시스템", *생산 연구*, 44권 12호, pp584-589
4. Goldstein, G., 1990, "Electrorheological Fluids: Applications begin to gel," *ASME Mechanical Engineering*
5. Korobko, E.V., 1992, " Some Aspects of Electrorheology," *J. of Intelligent Material System and Structure*, Vol. 3, pp268-295