



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

모노 플렉스 펌프 임펠러의
마모방지에 관한 연구



2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제 어 기 계 공 학 과

권 중 기

공 학 석 사 학 위 논 문

모노 플렉스 펌프 임펠러의 마모방지에 관한 연구

지도교수 김 시 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제어기계공학과

권 중 기

권중기의 공학석사 학위논문을 인준함.

2008년 12월 17일



주 심 공학박사 장 지 성 (인)

위 원 공학박사 한 규 일 (인)

위 원 공학박사 김 시 영 (인)

목 차

Abstract	-----	ii
기호설명	-----	iii
 I. 서론	-----	 1
II. 이론적 배경	-----	3
1. 마찰이론	-----	3
2. 마모이론	-----	5
III. 실험장치 및 방법	-----	8
1. 실험장치	-----	8
2. 시험편의 기계적 조성	-----	11
3. 실험방법	-----	12
IV. 결과 및 고찰	-----	13
1. 하중변화에 따른 마찰계수의 변화	-----	13
2. 하중변화에 따른 마모량의 변화	-----	17
3. 속도변화에 따른 마모량의 변화	-----	32
4. 온도변화에 따른 마모량의 변화	-----	37
V. 결론	-----	42
참고문헌	-----	43

Study on the Wear Prevention of
Mono Flex Pump Impeller

Jung - Ki Kwon

*Department of Control and Mechanical Engineering,
Graduate School of Pukyong National University*

Abstract

The Mono flex impeller(CR), which is installed inside the bronze housing of the conventional Mono flex pump, is causes the abrasion. Because of the source of breakdown, there is a need to study to prevent the abrasion.

In this study, to solve this problem, abrasion test of the rotating impeller equipped with poly-acetal membrane bushing shape between the mono flex housing and impeller were conducted using several approaches.

Through the change of oil temperature, rotation speed of the impeller and propulsion pressure, the abrasion test equipped with CR-rubber and acetal bushing was intended to contribute to the actual design of the parts by conducting experimental comparison and analysing.

기 호 설 명

W	표면하중 (kg_f)
F	마찰력 (kg_f)
A	접촉면적 (cm^2)
τ_{ab}	평균전단응력 (kg_f/cm^2)
μ	마찰계수
W_s	마모량 (g)
p	접촉면압력 (kg_f/cm^2)
S	거리 (mm)
μ_i	점성계수 ($\text{g}/\text{kg}_f \cdot \text{mm}$)
V	속도 (m/s)



I. 서론

산업현장에서는 다양한 펌프가 사용되고 있으며 그 사용 액체의 종류에 따라 여러 재질의 임펠러가 사용되고 있다. 사용 액체가 고점도의 유체, 그리고 액체중에 반고체등의 슬러지 등이 포함되어 있는 경우에는 플렉시블한 임펠러를 채용한다.

특히 그중에서도 제설용, 해수용, 그리고 슬러지등이 포함된 각종 오페수, 정화조등에 이용되는 펌프에서는 임펠러의 재질도 내구성등을 고려하여 CR(Chloroprene Rubber)등을 사용하고 있다. CR재료는 우리 일상생활에서부터 고도의 정밀과학제품에 이르기 까지 떼어놓을 수 없는 중요한 역할을 하고 있다. 특히 공업이 발달함에 따라 공업용품의 수요가 증가하는 추세이며, 사용 환경이나 사용방법에 따른 요구특성의 폭도 넓어지고 있는 실정이다.

동절기 제설 작업에는 모노 플렉스 펌프(Mono Flex Pump)가 장착된 제설장비가 가장 많이 이용되고 있다. 모노 플렉스 펌프는 임펠러가 접히면서 액체를 안고 돌아 다시 펴지면서 출구쪽으로 밀어내는 방식으로 펌핑하는 특징이 있다.

모노 플렉스 펌프의 고장유형은 여러 가지가 있지만 그중에서도 청동재질의 펌프 하우징(Pump Housing)내에 토출측 내면과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의하여 임펠러의 손상이 발생하고 있다. 이 제설장비의 안전장치로는 작업 중 염수(염화용액)가 부족하게 되었을 때 경고등 점등 후

펌프의 구동을 멈추게 되어있지만, 사용부주의, 센서의 오작동으로 모노플렉스 펌프의 작동으로 인한 임펠러의 마모나 소손에 의한 용액살포가 중단되므로, 제설작업에 어려움이 발생되고 있다.^[1]

기존의 모노 플렉스 펌프에 장착되어 사용되고 있는 청동재질의 펌프하우징 내부에는 CR로 된 모노 플렉스 펌프 임펠러가 장착되어 있으나, 이 경우 소손 및 마모현상이 일어나 고장의 원인이 되고 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모노플렉스 펌프 하우징과 임펠러 사이에 폴리아세탈 박막 부싱 형상을 장착하여 여러 경우에 대하여 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험을 하였다.^[2]

폴리아세탈은 결정성이 높고, 굽힘강도등 기계적 특성이 우수 할뿐만 아니라 치수 안정성, 내피로 특성, 내마모성이 뛰어나기 때문에 엔지니어링 플라스틱 중에서 금속에 가장 가까운 성질을 갖고 있어 금속기계부품으로 대체되고 있는 실정이다. 폴리아세탈은 VCR, 전기, 전자부품, 각종 기어와 볼트 너트 등 기계부품, 자동차 부품, 배관 부품 등에 이용되고 있다.

마모시험은 CR고무와 아세탈 박막 부싱을 장착하였을 경우에 사용유체 온도변화, 임펠러의 회전속도, 그리고 토출압력의 변화를 통하여 내마모성을 실험적으로 비교분석 및 검토함으로써 실제 부품을 설계하는데 기여하고자 한다.^[3]

Ⅱ. 이론적 배경

1. 마찰이론

마찰은 직간접적인 표면접촉을 하고 있는 두 고체가 상대운동을 할 때 항상 그 운동에 대한 저항이 생기는데 이러한 현상을 마찰이라하며, 이때의 저항력을 마찰력이라 한다. 인류가 소비하는 에너지의 많은 부분이 마찰손실로 소비되는 것을 생각할 때 마찰이 얼마나 중요한 문제인가 알 수 있으며 따라서 설계의 개선이나 재질의 개선 혹은 윤활제의 개선을 통하여 마찰을 줄이는 일은 현대기술에 있어서 매우 중요한 것이라고 할 수 있다.^[4]

그러나 우리의 일상생활 가운데 많은 부분들이 적당한 마찰을 필요로 하며 경우에 따라서는 충분한 마찰을 유지하는 것이 매우 중요하다는 것이다. 예를 들면 우리가 걸음을 걷는 일, 자동차의 시동을 걸거나 혹은 커브길을 달리는 일, 또 손으로 어떤 물체를 잡는 일등은 만일 마찰이 너무 작다면 이루어질 수 없는 일이다. 충분한 마찰의 유지는 또한 못이나 나사 그리고 볼트등과 같은 조임기구에서 필수적인 것이기도 하다.

위에서 언급한 대로 불필요한 마찰이 있을 때 이를 줄이는 일과 마찰을 필요로 하는 곳에 충분한 마찰을 유지하는 일은 마찰에 관한 커다란 두 범주이지만 세 번째 영역으로서 무시할 수 없는 것은 마찰을 필요로 하는

좁은 범위 내에서 유지하는 일이다. 마찰이 너무 작으면 요구하는 시간에 차가 정지하지 않고 또 마찰이 너무 크면 갑작스런 정지로 승객들에게 불편함을 주는 자동차의 브레이크는 이의 전형적인 예라고 하겠다. 마찰은 모든 기계에서 일어나며 마찰열로 인한 마모와 표면손상등 전체 효율을 떨어뜨린다. 마찰을 마찰표면에 따라 분류하면 건조마찰, 표면층 마찰, 유체마찰, 경계마찰, 혼합마찰등으로 나눌 수 있다.^[5]

그리고 마찰의 제2법칙으로 마찰계수를 정의할 수 있다. 이 법칙은 상대접촉 마찰운동을 하는 두 표면이 하중(W)에 의하여 접촉하고 마찰력(F)에 의하여 미끄럼 마찰운동이 일어난다고 한다. 여기서 실제 접촉면적(A), 평균전단응력(τ_{av})일 때 비로소 미끄럼 마찰운동이 일어난다고 가정하면, 마찰력은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$F = \tau_{av} A \quad (1)$$

또한 미끄럼 마찰 접촉운동을 하는 두 물체사이에 가해지는 하중과 마찰 저항력의 크기가 서로 직교하는 조건에서 마찰계수 μ 는 식 (2)와 같다.

$$\mu = \frac{F}{W} = \frac{\tau_{av} A}{p A} = \frac{\tau_{av}}{p} \quad (2)$$

여기서 $p(=\frac{W}{A})$ 는 소재의 물리적 특성을 나타내는 접촉면압으로, 보통은 마찰소재의 표면경도(Surface hardness)를 나타낸다.

2. 마모이론

마모는 표면의 상대운동 결과로 미세한 입자들이 접촉면에서 이탈되는 현상으로 정의되며, 모든 기계 장치에서 불가피하게 발생하는 현상이다. 마모의 원인으로는 응착, 부식, 절삭, 피로 및 화학적 상호작용 등이 알려져 있다. 그러나 대부분의 경우 마모는 한 가지 원인에 의해서 발생하는 것이 아니라 여러 가지 원인에 의하여 발생한다. 그 중에서도 표면막의 영향, 온도의 영향, 하중의 영향, 회전속도의 영향등이 가장 많이 차지하고 있다. 마모량의 측정방법에는 기존 재료의 무게를 측정한 후 마모실험 후 다시 재 측정하는 방법을 가장 많이 사용한다.

마모측정은 변화가 많다는 사실에 주의해야 한다. 같은 장비와 같은 실험실에서의 실험이라도 다른 시간에 걸쳐 광범위하게 다른 결과를 가져다 준다. 그러한 변화는 표면들이 문질러지고 있는 조건에 대해 적절하게 조정하는 것이 부족하기 때문이다. 예를 들어 외부로부터의 잔모래의 진입은 마모율을 증가시키는 원인이 될 수 있으며, 작은 양의 수증기는 산화막의 성장을 변경시킬 수도 있고, 시편의 잘못된 취급은 손으로부터 오염된 그리스막을 퇴적시킬 수 있다. 이와 같이 표면은 재현 가능한 방법으로 준비되어야 하고 깨끗하게 청소된 상태에서 실험을 행하여야 한다. 그리고 대기 조건은 일정해야 하고 연삭되어진 재료의 진입이 차단되어야 한다. 마모 연구의 궁극적 목적은 재료 선택을 포함한 부품을 설계할 수 있게 하는 것이다.^[6]

마모의 종류에는 응착마모(Adhesive Wear), 절삭마모(Abrasive Wear),

부식마모(Corrosive Wear), 표면피로마모(Surface fatigue Wear), 미동마모(Fretting Wear), 침식마모(Erosive Wear)등이 있다. 응착마모는 두 표면이 접촉하여 상대운동을 할 때, 두 표면의 원자들간에 존재하는 인력에 의하여 두 접촉면이 응착되어서 한 접촉면으로 부터 파편이 떨어져 나오는 형태의 마모를 말한다.

하중이 증가함에 따라 마모량이 증가한다는 일반적인 Wear model에서 Kraus등에 의하면 마모량과 하중의 관계는 마모의 경우 직선적인 관계가 있음을 보여 주고 있다. 즉 마모량과 하중의 관계는 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$Ws = \mu_i \times F \times S \quad (3)$$

여기서, Ws 는 마모량, F 는 하중, S 는 거리, μ_i 는 점성계수이다.

절삭마모는 거칠고 단단한 표면이나 혹은 거친 입자를 포함한 연한 표면이 연한 표면과 상대운동을 할 때 연한 표면에 절삭작용을 함으로써, 연한 표면의 물질이 제거되는 형태의 마모를 말한다.

부식마모는 상대운동이 부식적인 환경에서 일어날 때, 접촉표면을 둘러싸고 있는 주위환경과 접촉표면과의 화학적인 작용으로 생긴 화합물이 표면으로 부터 떨어져 나가는 것을 말한다. 표면피로마모는 한 궤도를 따라 반복적인 상대운동이 있을 때 발생한다. 반복하중은 표면 혹은 표면 아래에 크랙을 형성하게 하는데, 이 크랙이 결과적으로 그 표면의 파괴를 야기 시키게 된다.

미동마모는 접촉표면들이 작은 진폭의 진동을 받게 될 때 일어나게 된다. 접촉표면이 작은 진폭의 진동을 받으면, 접촉표면으로부터 매우 작은 마모입자가 생성되게 되고(응착마모), 이 입자들은 곧 산화되어 단단한 산

화물을 만들며(부식), 이 산화물들이 절삭마모를 일으키게 된다. 따라서 이러한 형태의 마모는 미동 부식마모라고 불려지기도 한다.

침식마모는 고체의 표면에 고체나 혹은 액체 입자들과 부딪힘에 의하여 마모되는 현상을 말한다. 낙수에 의하여 바위에 구멍이 뚫리는 것은 침식 마모의 좋은 예라고 할 수 있다.



Ⅲ. 실험장치 및 실험방법

1. 실험장치

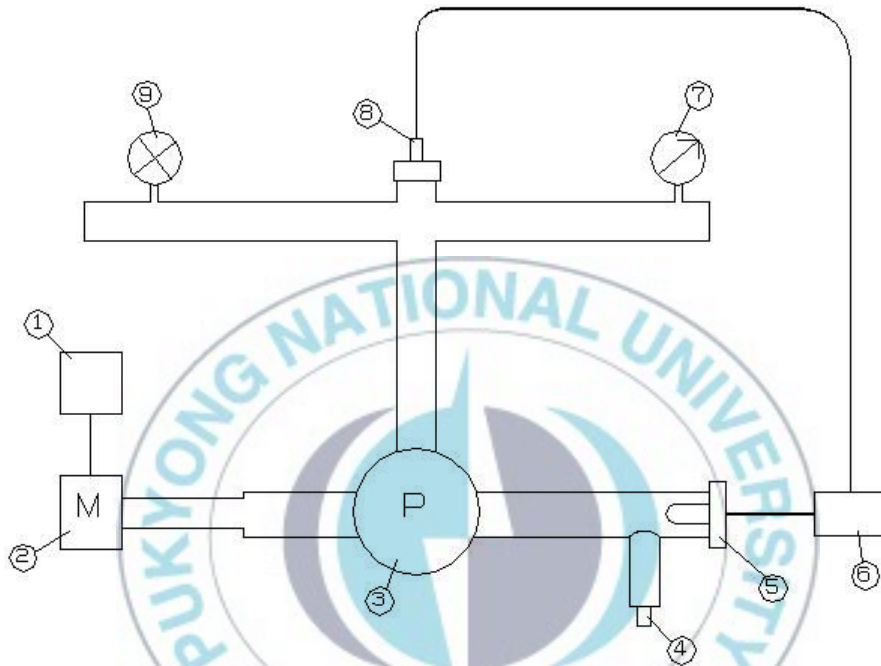
본 실험에 사용된 펌프는 모노 플렉스 펌프(FA40 니키소 에이코사)로서 무게는 7kg, 포트사이즈는 RC 1 $\frac{1}{2}$ " 이고, 흡입양정은 4~6m이다. 또한 실험에 이용된 모터는 380V, 7.8A, 최대출력 3.7 kW, 최대 회전수 1720rpm의 성능을 가진 AC모터이다. 그리고 모노 플렉스 펌프 임펠러의 사양은 지름 93mm, 길이 63mm의 FA-40의 모델이다. 그 외에 온도센서, 유량계, 압력계 및 각종 밸브등으로 구성되어 있는, 실험장치는 Fig. 1과 같이 제작하였다. Photo. 1에 실험장치의 실물사진을 나타내고 Photo. 2는 모노 플렉스 펌프 임펠라의 확대사진이다. 실험에서는 펌프라인에 온도변화를 주기위하여 막대형 히팅코일을 장착하였고, 각 온도를 일정하게 유지하기 위하여 온도유지장치를 사용하였다. 그리고 마찰회전속도에 변화를 주기 위하여 가변속 전동구동장치(Inverter)를 이용하여 실험을 행하였다.



Photo. 1 Photograph of experimental apparatus



Photo. 2 Photograph of test section



- ① Inverter ② 3P Motor ③ Mono flex pump ④ Air inlet port
⑤ Thermo couple ⑥ Temperature controller ⑦ Pressure gauge
⑧ Thermo sensor ⑨ Stop valve

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

2. 시험편 기계적 조성 및 화학적 성질

Table 1 Mechanical properties of friction test materials

Material Qualities	Acetal	Bronze	CR
Specific gravity	1.42	9	1.15-1.25
Tensile strength (kg_t/cm^2)	60-250	2000	500-700
Brinell Hardness	36	86-89	40 - 90
Wear resistant	Excellence	Excellence	Satisfaction

Table 2 Chemical qualities of friction test materials

Material Chemical qualities	Acetal	Chloroprene Rubber	Bronze
Chemical formula	$(-\text{O}-\text{CH}_2-)_n$	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$	-
Chemical name	Poly Oxy Methylene	2-Methyl-1, 3-Butadiene	Cu-Sn
Feature	Fatigue, Friction, Wear resistance	Ozone resistance	Corrosion resistance

3. 실험방법

마찰계수는 스트레인 게이지(strain gauge)에 의해 측정한 후에 환산한 마찰력을 수직하중으로 나누어 계산하였고, 마모량은 0.001g 까지 측정 가능한 전자식 정밀저울을 사용하였다. 온도는 25℃, 35℃, 45℃로 변화를 주었고, 회전속도는 700rpm, 900rpm 1100rpm에서 실시하였으며 하중은 5kg_f, 10kg_f, 15kg_f, 20kg_f, 25kg_f 5단계로 변화시켜 실험을 하였다. 여기서 하중은 에어컴프레셔에서 나오는 압력에 단면적을 곱하여 환산하였다. 실험시간은 각 단계별로 30초로 하였다. 왜냐하면 임펠러 제조회사의 spec에 무운환상태에서는 공회전을 1분 이내로 제한하고 있으며, 실제 1분 이상 가동시 임펠러의 손상이 극심하여 실험의 의미가 없었다. 실험순서는 청동재질의 펌프하우징에서 CR재질의 임펠러를 구동시켰을 때의 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 및 마모량을 측정하였다. 그리고 기존 실험장치와 동일한 조건하에서 실험하기위하여 청동재질 펌프하우징의 지름을 1mm 가공한 후, 지름 87mm, 길이 63mm, 두께 1mm의 폴리아세탈을 펌프하우징내에 장착한 후 CR재질의 임펠러를 구동시켰을 때의 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 및 마모량을 측정한 후 서로 비교분석 및 검토하여 실제부품으로서 이용가능한지를 살펴보았다.^[7]

IV. 결과 및 고찰

1. 하중변화에 따른 마찰계수의 변화

Fig. 2는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 마찰력을 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 값을 나타내었다. 하중의 증가에 따라 마찰계수는 모두 감소하고 있고, 온도가 높을수록 마찰계수는 작아지고 있음을 알 수 있다. 모든 하중에 대하여 낮은 온도에서 가장 큰 마찰계수를 갖는다. 또 35℃와 45℃에서도 마찰계수는 0.22에서 0.07 정도로 비교적 낮으나, 25℃에서는 0.35에서 0.175까지 높고 변화율도 크게 되었다. 마찰계수 값이 뚜렷이 낮아지는 이유는 표면 마찰열이 점차 상승하여 고온이 되므로 응착 마찰력이 다소 감소하게 되고 소성유동이 일어나 마모막이 점차 쌓이면서 응착마모 된 공간을 메우기 때문이며, 이와 함께 표면 마찰온도가 높을수록 건조 마찰시에는 CR 임펠러 표면의 마모막이 탄화됨으로써 이것이 표면을 보호하기 때문에 정상마모로의 진행이 이루어지고 마찰계수도 차츰 감소하여 안정화되기 때문이라고 사료된다.^[8]

Fig. 3은 펌프하우징내에 폴리아세탈을 장착했을 때 CR재질 임펠러의 마찰력을 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 값을 나타내었다. 하중의 증가에 따라 마찰계수는 모두 감소하고 있고, 온도가 높을수록 마찰계수는 작아지고 있음을 알 수 있다. 모든 하중에 대하여 낮은 온도에서 큰 마찰계수를 갖는다. 또 35℃와 45℃에서도 마찰계수는 0.19에서 0.05 정도로

비교적 낮으나, 25℃에서는 0.33에서 0.155까지 높고 변화율도 크게 되었다.

청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러(CR - Br)와 펌프하우징내에 폴리아세탈부싱을 장착했을 때 CR재질 임펠러(CR - Ac)에서 온도 25℃ 일 때 마찰계수의 값은 하중 5kg_f에서는 0.02, 하중 15kg_f에서는 0.02, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.025이었다. 온도 35℃ 일 때 마찰계수의 값은 하중 5kg_f에서는 0.025, 하중 15kg_f에서는 0.03, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.028이었다. 온도 45℃ 일 때 마찰계수의 값은 하중 5kg_f에서는 0.025, 하중 15kg_f에서는 0.025, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.02의 실험값이 도출되었다.



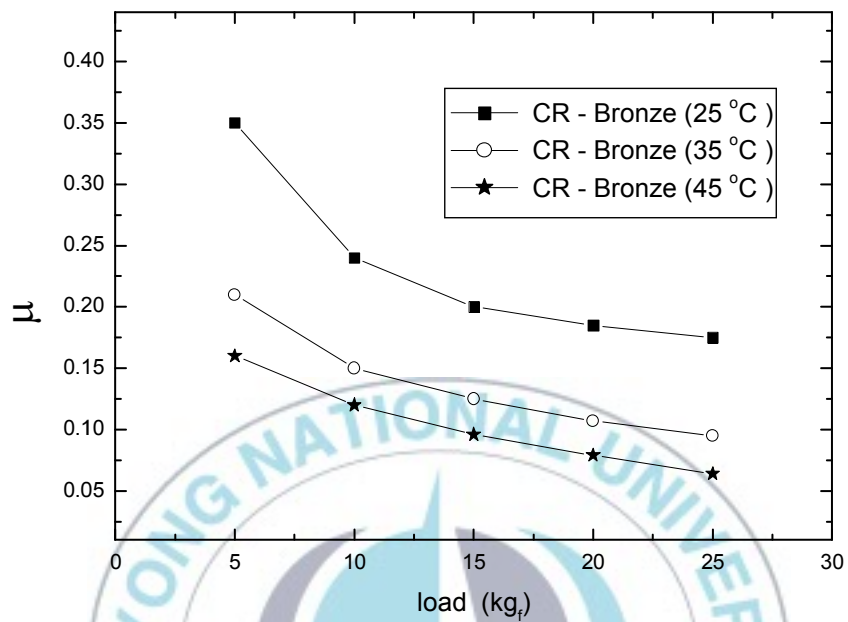


Fig. 2 Comparison of friction coefficient depend on Temperature change (CR - Bronze)

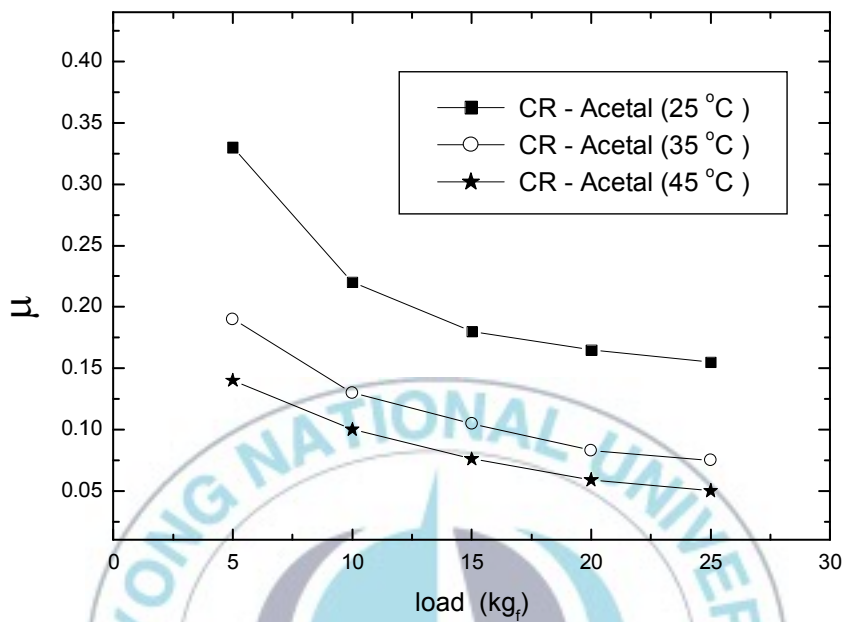


Fig. 3 Comparison of friction coefficient depend on Temperature change (CR - Acetal)

2. 하중변화에 따른 마모량의 변화

Fig. 4는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 700rpm, 온도는 25℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig .4에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. 여기서 아세탈은 자기 윤활 특성(Self lubricant property)에 의해 작은 값의 동마찰계수를 갖고 있기 때문에, 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모량은 작은 값으로 나타남을 실험을 통하여 알 수 있었다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.331g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.36g 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.371g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.231g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.26g 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.272g 으로서 일반적인 Wear model에 의한 하중과 마모량의 관계는 직선적인 관계가 있음을 보여주고 있다.^[9]

Fig. 5는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 700rpm, 온도는 35℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig .5에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.341g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.365g 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.383g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량

은 0.252g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.268g 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.287g 으로 측정되었다.

Fig. 4와 비교하였을 때 온도가 올라감에 따라 마모량은 증가함을 알 수 있다. 이것은 마찰에 의한 열의 발생이 청동재질의 펌프하우징의 표면 온도를 상승시키고 이에 따라 CR재질 임펠러의 표면온도도 동시에 상승함에 따라 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 700rpm, 온도는 45℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.344g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.372g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.385g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.281g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.307g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.325g 으로 측정되었다.

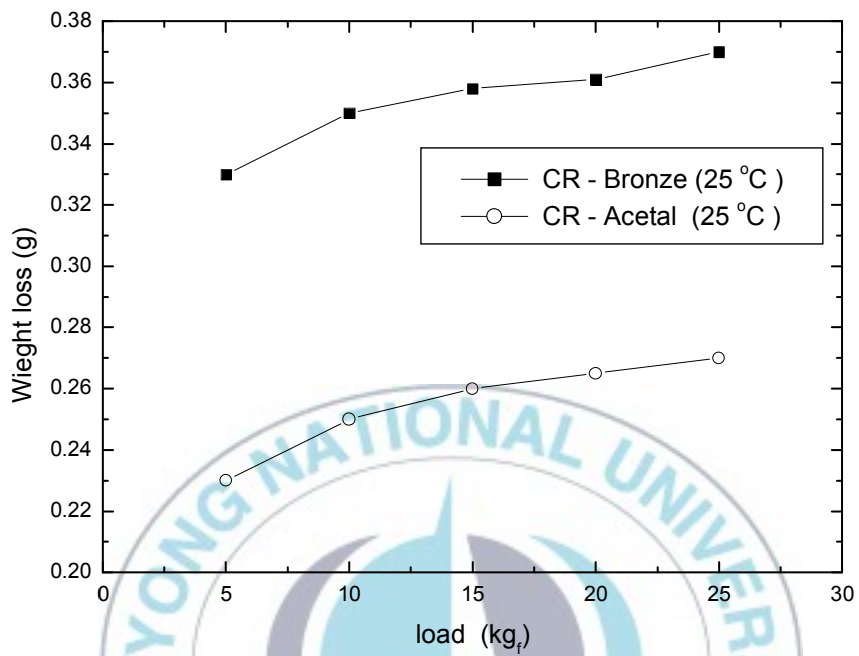


Fig. 4 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 25°C, 700rpm)

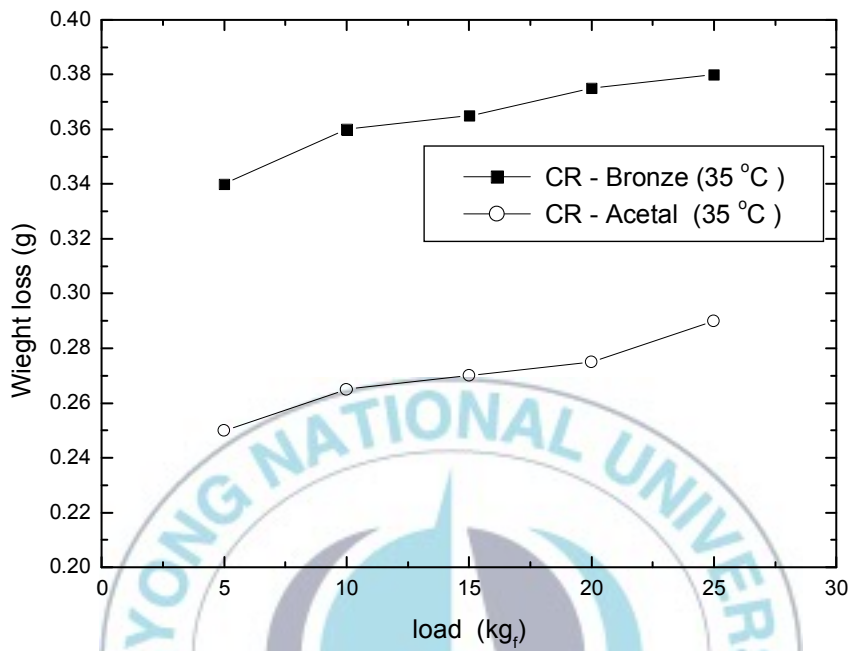


Fig. 5 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 35°C, 700rpm)

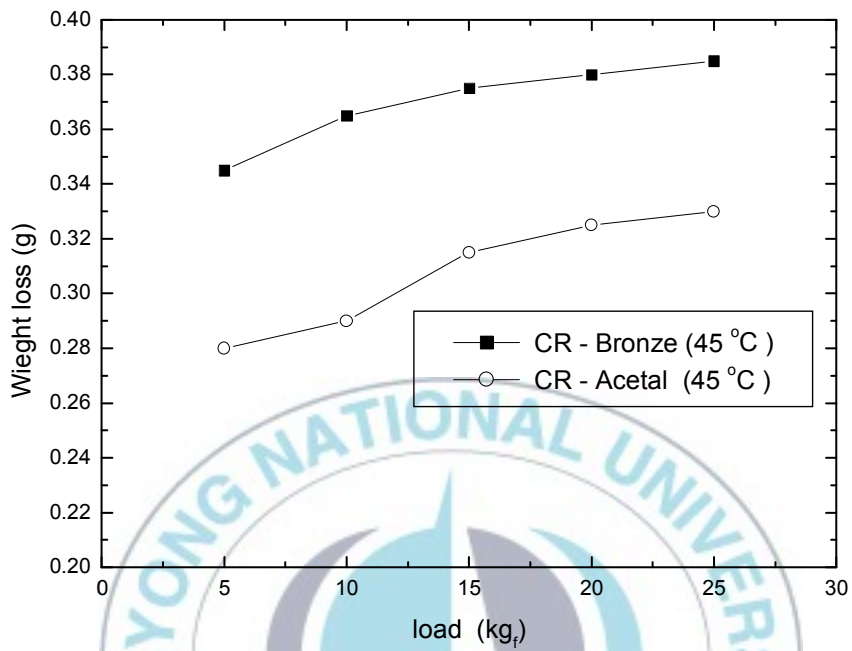


Fig. 6 Comparison of weight loss at CR – Bronze and CR – Acetal
(Temperature 45°C, 700rpm)

Fig. 7은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 900rpm, 온도는 25℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.421g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.453g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.47g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.271g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.3g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.32g 으로 측정되었다.

Fig. 4와 비교시, 즉 회전수가 200rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.11g, 하중 15kg_f에서는 0.093g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.097g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.039g, 하중 15kg_f에서는 0.069g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.047g의 차이가 있었다. 이것은 회전수 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.^[10]

Fig. 8은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 900rpm, 온도는 35℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.431g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.462g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.496g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.285g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.312g, 그리고 하중이 25kg_f 일

때 마모량은 0.355g 으로 측정되었다.

Fig. 5와 비교시, 즉 회전수가 200rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.09g, 하중 15kg_f에서는 0.097g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.113g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.033g, 하중 15kg_f에서는 0.044g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.068g의 차이가 있었다. 이것은 회전수 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.^[11]

Fig. 9는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 900rpm, 온도는 45℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.45g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.49g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.51g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.327g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.364g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.402g 으로 측정되었다.

Fig. 6과 비교시, 즉 회전수가 200rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.106g, 하중 15kg_f에서는 0.118g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.125g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.046g, 하중 15kg_f에서는 0.057g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.077g의 차이가 있었다. 이것은 회전수 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.^[12]

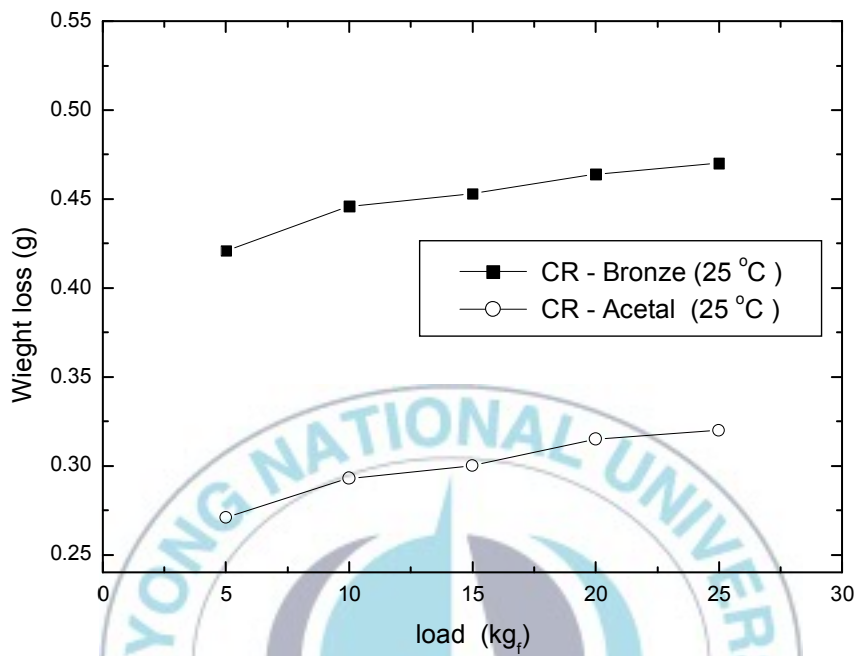


Fig. 7 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 25°C, 900rpm)

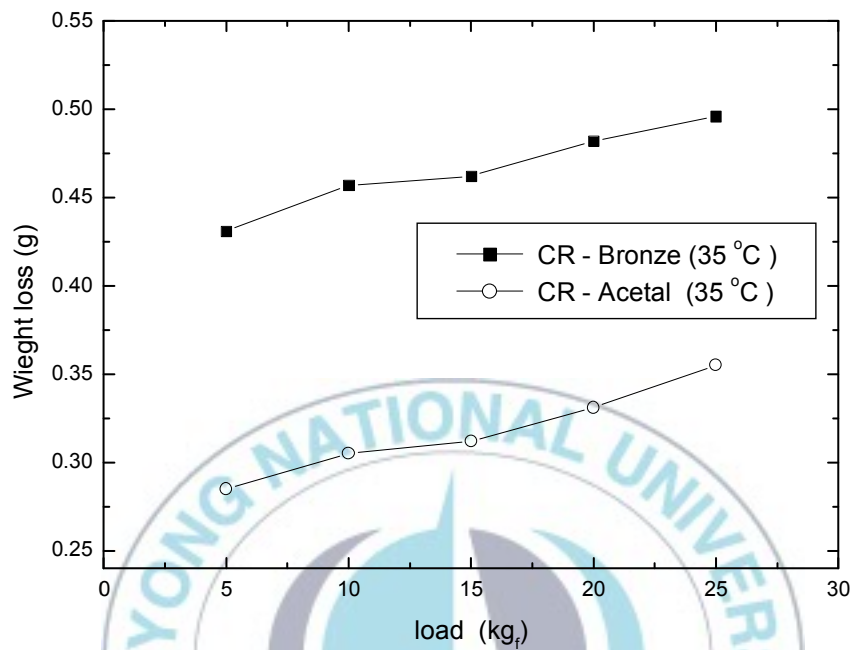


Fig. 8 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 35°C, 900rpm)

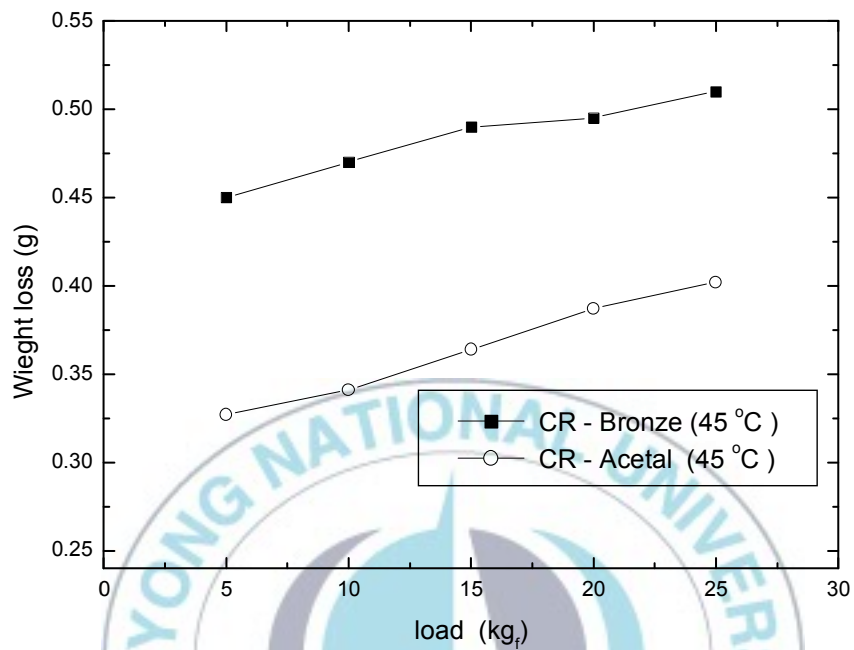


Fig. 9 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 45°C, 900rpm)

Fig. 10은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 1100rpm, 온도는 25℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.551g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.614g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.642g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.352g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.392g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.423g 으로 측정되었다.

Fig. 4와 비교시, 즉 회전수가 400rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.22g, 하중 15kg_f에서는 0.254g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.269g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.12g, 하중 15kg_f에서는 0.131g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.150g의 차이가 있었다. 이것은 회전수가 증가함에 따라 응축마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.

Fig. 11은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 1100rpm, 온도는 35℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 11에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.562g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.62g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.663g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.381g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.442g, 그리고 하중이

25kg_f 일 때 마모량은 0.473g 으로 측정되었다.

Fig. 5와 비교시, 즉 회전수가 400rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.221g, 하중 15kg_f에서는 0.255g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.280g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.129g, 하중 15kg_f에서는 0.174g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.186g의 차이가 있었다. 이것은 회전수가 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.^[14]

Fig. 12는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 회전수는 1100rpm, 온도는 45℃에서 하중변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.57g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.643g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.673g 이었다. CR - Ac에서 하중이 5kg_f 일 때 마모량은 0.422g, 하중이 15kg_f 일 때 마모량은 0.503g, 그리고 하중이 25kg_f 일 때 마모량은 0.543g 으로 측정되었다.

Fig. 6과 비교시, 즉 회전수가 400rpm 증가하였을 때 CR - Br에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.227g, 하중 15kg_f에서는 0.271g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.288g의 차이가 있었다. CR - Ac에서 하중 5kg_f에서는 마모량의 차이는 0.141g, 하중 15kg_f에서는 0.196g, 그리고 하중 25kg_f에서는 0.218g의 차이가 있었다. 이것은 회전수가 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.^[15]

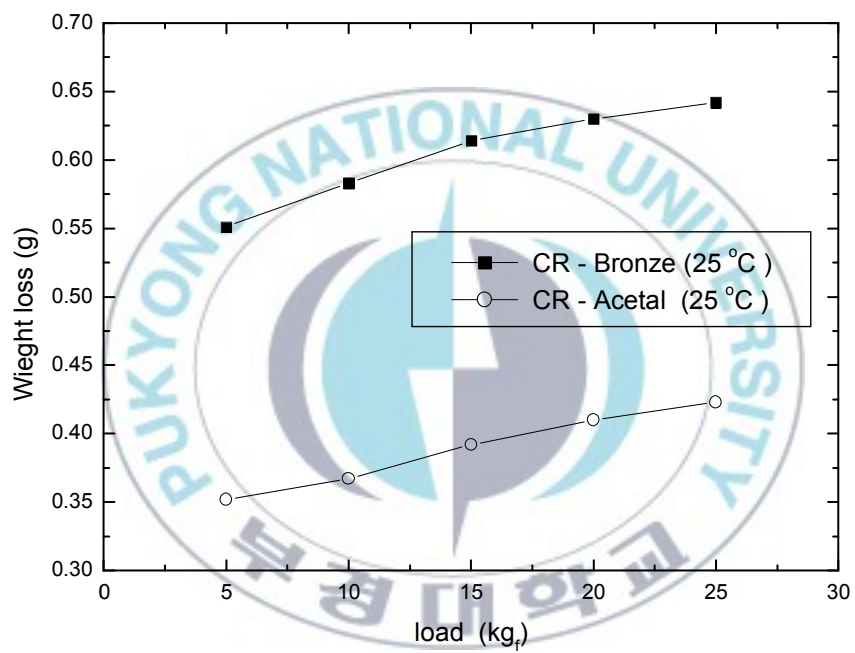


Fig. 10 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 25°C, 1100rpm)

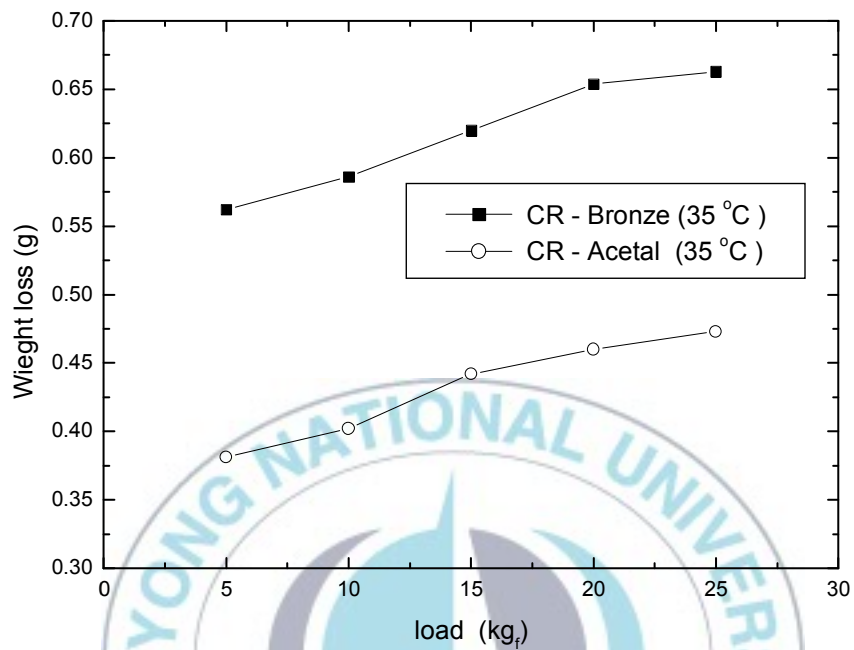


Fig. 11 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 35°C, 1100rpm)

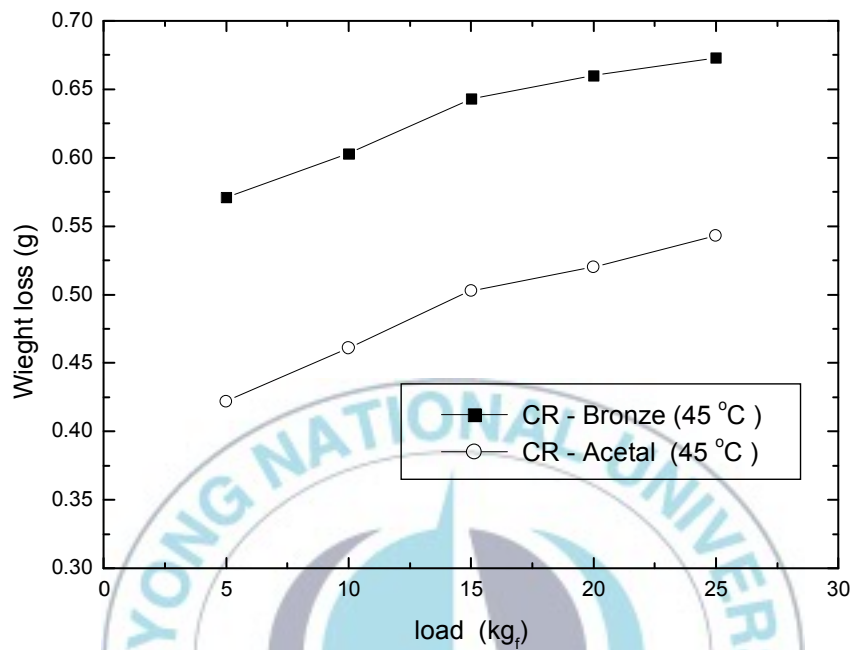


Fig. 12 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 45°C, 1100rpm)

3. 속도변화에 따른 마모량의 변화

Fig. 13은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 온도는 25℃에서 속도변화에 따른 마모량 변화를 나타내었다. Fig. 13에서 볼 수 있듯이 속도가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.371g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.47g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.642g 이었다. CR - Ac에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.272g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.32g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.423g 측정되었다. 이것은 속도가 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 사료된다.

Fig. 14은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 온도는 35℃에서 속도변화에 따른 마모량 변화를 나타내었다. Fig. 14에서 볼 수 있듯이 속도가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.383g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.493g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.663g 이었다. CR - Ac에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.287g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.355g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.473g 측정되었다.

Fig. 15는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한

마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부식을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 온도는 35℃에서 속도변화에 따른 마모량 변화를 나타내었다. Fig. 15에서 볼 수 있듯이 속도가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.385g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.51g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.673g 이었다. CR - Ac에서 속도가 0.7 m/s 일 때 마모량은 0.325g, 속도가 0.9 m/s 일 때 마모량은 0.402g, 그리고 속도가 1.1 m/s 일 때 마모량은 0.543g 측정되었다.



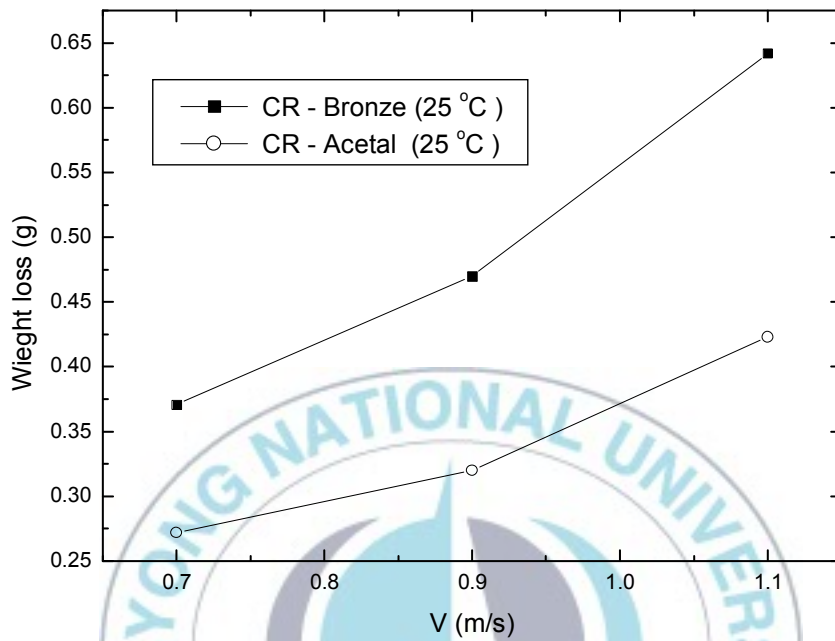


Fig. 13 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 25°C, 25kg_f)

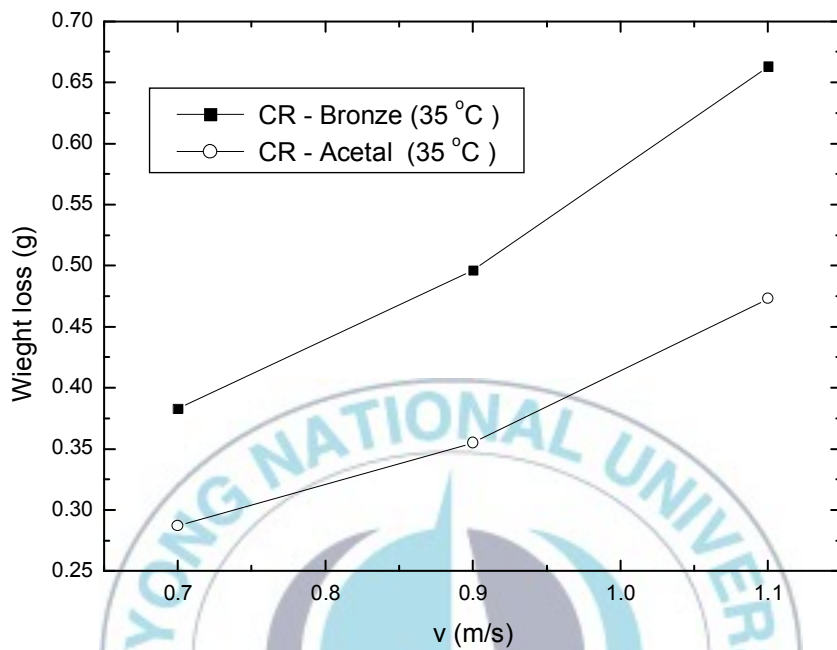


Fig. 14 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(Temperature 35°C, 25kg_f)

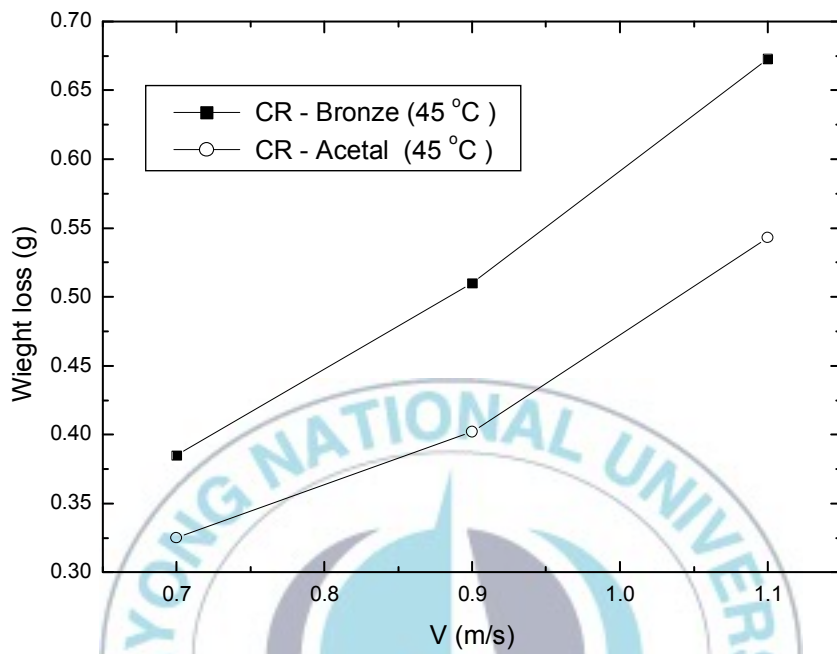


Fig. 15 Comparison of weight loss at CR – Bronze and CR – Acetal
(Temperature 45°C, 25kg_f)

4. 온도변화에 따른 마모량의 변화

Fig. 16은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 회전수는 700rpm 에서 온도변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 16에서 볼 수 있듯이 회전수가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 온도 25℃ 일 때 마모량은 0.371g, 온도35℃ 일 때 마모량은 0.383g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.385g 이었다. CR - Ac에서 온도25℃ 일 때 마모량은 0.272g, 온도 35℃ 일 때 마모량은 0.287g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.325g 측정되었다.

Fig. 17은 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다. 실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 회전수는 900rpm 에서 온도변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 17에서 볼 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 온도 25℃ 일 때 마모량은 0.47g, 온도 35℃ 일 때 마모량은 0.496g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.51g 이었다. CR - Ac에서 온도 25℃ 일 때 마모량은 0.32g, 온도 35℃ 일 때 마모량은 0.355g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.402g 측정되었다.

Fig. 18는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br)과 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부싱을 장착하여 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 하였다.

실험시간은 30초, 하중은 25kgf, 회전수는 1,100rpm 에서 온도변화에 따른 마모량변화를 나타내었다. Fig. 18에서 볼 수 있듯이 회전수가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 것을 알 수 있다. CR - Br에서 온도 25℃ 일 때 마모량은 0.642g, 온도 35℃ 일 때 마모량은 0.663g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.673g 이었다. CR - Ac에서 온도 25℃ 일 때 마모량은 0.423g, 온도 35℃ 일 때 마모량은 0.473g, 그리고 온도 45℃ 일 때 마모량은 0.543g 측정되었다.



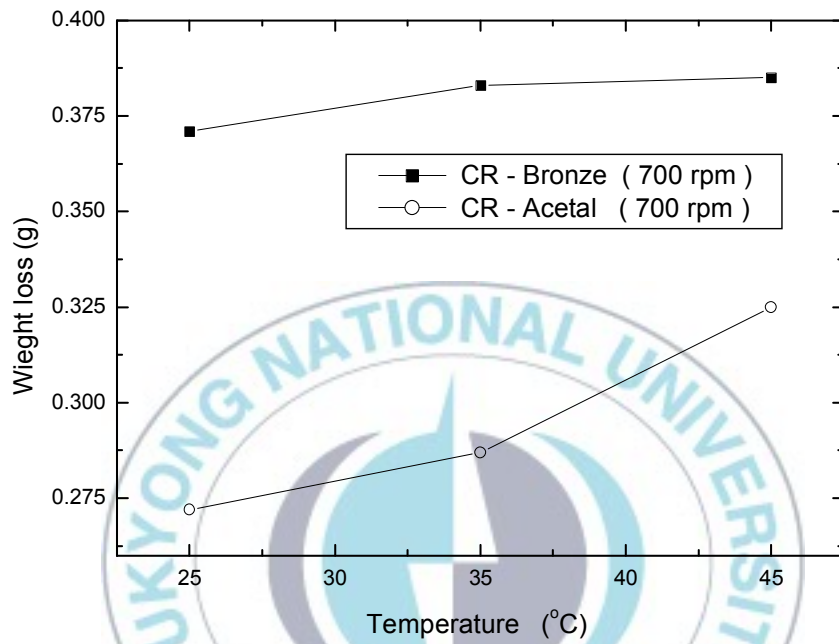


Fig. 16 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(700 rpm, 25kgf)

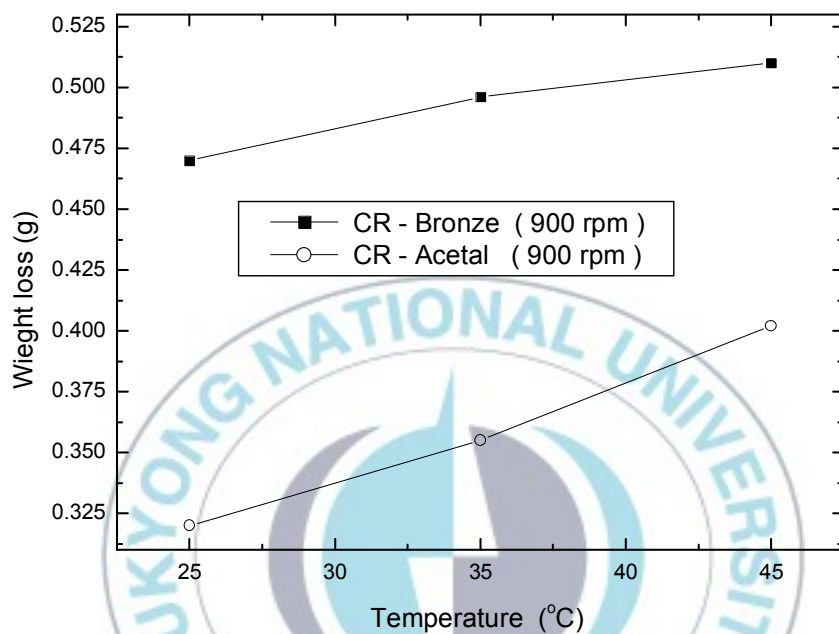


Fig. 17 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(900 rpm, 25kgf)

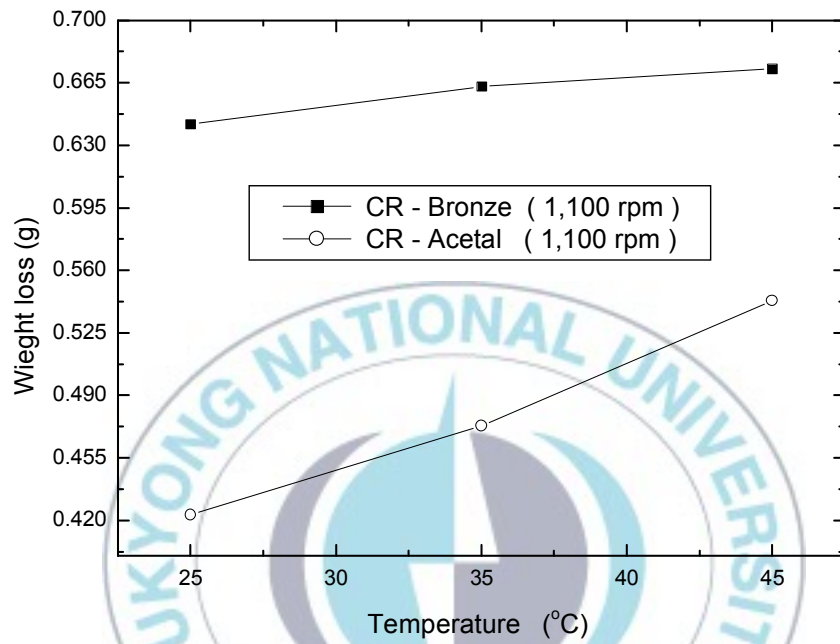


Fig. 18 Comparison of weight loss at CR - Bronze and CR - Acetal
(1,100 rpm, 25kg_f)

V. 결 론

본 연구에서는 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Br) 및 청동재질의 펌프하우징내 아세탈 박막 부상을 장착한 CR재질 임펠러와의 회전마찰에 의한 마모시험(CR - Ac)을 수행하였다.

1. 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러사이에 아세탈 박막 부상을 장착하여 실험하였을 때 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마찰계수보다 감소함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

2. 회전수가 증가함에 따라 응착마찰력 및 마찰온도가 상승함으로 마모량은 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러사이에 아세탈 박막 부상을 장착하여 실험하였을 때 청동재질의 펌프하우징과 CR재질 임펠러의 회전마찰에 의한 마모량보다 감소함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

3. 기존의 모노 플렉스 펌프에 장착되어 사용되고 있는 청동재질의 펌프하우징 내부에 CR로 된 모노플렉스 임펠러가 장착되어 있으나, 이 경우 소손 및 마모현상이 일어나 고장의 원인이 되고 있다. 그러므로 CR고무와 펌프하우징내부에 아세탈 박막 부상을 장착하였을 경우에 온도변화, 속도변화, 그리고 하중의 변화를 통하여 내마모성을 실험적으로 비교분석 및 검토한 결과 CR재질 임펠러의 소손 및 마모량을 감소시키므로 실제부품으로 사용가능함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 강석춘, 1992, “윤활상태에서 플라스틱의 마찰특성에 관한 연구”, 한국 윤활학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 48-55.
- [2] 권오관, 1985, “Tribology에 대한 고찰”, 윤활학회지, Vol. 1, No. 1.
- [3] 송건, 권숙인, 차영현, 1988, “인칭동의 내마모성향상에 대한 연구”, 한국윤활학회지, v. 4, no. 1, pp. 56~68.
- [4] 임명환, 윤한용, 1998, “선박용 프로펠러의 강도 특성에 관한 연구”, 목포대학교, pp. 62~67.
- [5] 지현숙, 2001, “유리로 성형된 펌프. <http://patent.naver.com/patent/specification.php?Applicationnumber=1020010044771>”.
- [6] 홍종희, “금속재료”, 보성문화사.
- [7] 합성고무특성표, “www.ssshhh.co.kr/data.html”.
- [8] 한국선급, 1996, “선급 및 강선규칙”, 재료 및 용접. 2편, p. 53.
- [9] Atkinson, J.R., Brown, K.J., and Dowson, D., 1978, “The Wear of High Molecular Weight Polyethylene”, ASME J. Lub. Tech., 100, pp. 208~218.
- [10] Lancaster, J.K., Bramham, R.W., Play, D., and Waghorne, R., 1982, “Effects of Amplitude of Oscillation on the Wear of PTFE”, ASME J. Lub. Tech., 104, pp. 559~567.
- [11] Lhymn, C., 1986, “Microscopy Study of the Frictional Wear of PTFE”, Wear, Vol. 107, No. 2, pp. 95~106.
- [12] Shuji One, Masahiro Saito, 1993, “Microstructure and mechanical Properties of 18mass Cr Cast Stainless Steel for Marine Propeller”, Japan Inst. Metals, Vol. 57, No. 7, pp. 761~766.

- [13] Tanaka, K. and Nagai, T., 1985, "Effect of Counterface Roughness on the Friction and Wear of PTFE and Polyethylene", ASME, pp. 397~404.
- [14] Uchiyama, Y., Ogawa, Y. and Ueji, Y., 1990, "Friction and Wear of Polymers", Proc. of the Japan International Tribology Conf, pp. 1359~1364.
- [15] W.Weibull, 1951, "Fatigue testing and the Analysis of Results", J. Appl. Mech, Vol. 18, No. 3, pp. 293~297.



감사의 글

막연한 꿈으로 제어기계공학과 대학원의 문을 두드린 때가 엇그제 같은데 어느덧 마무리 하게 되었습니다. 그 동안 논문이 결실을 맺을 수 있도록 학문적, 정신적으로 보살펴주시고 도움을 주신 많은 분들이 생각납니다.

그 동안 논문이 완성되기까지 많은 지도를 해주신 김시영 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 그리고, 바쁘신 중에도 깊은 관심과 조언으로 논문 심사를 해주신 한규일 교수님, 장지성 교수님께 감사 드리며, 항상웃으시는 얼굴로 격려해 주신 안수길 교수님, 문덕홍 교수님, 양주호 교수님, 고대권 교수님, 고성위 교수님, 그리고 김영복 교수님께 감사 드립니다.

논문 완성에 이르기까지 많은 도움을 주신 유재복 교수님, 황일호 공장장님, 주영석 선배님과, 실험심의 후배님들께도 깊은 감사를 드립니다. 항상 많은 도움을 주신 박승식 조교님과 박민수 조교님에게도 고마움을 전합니다.

끝으로, 끝없는 관심과 사랑으로 오늘에 이르게 해주신 어머님께 감사 드리며, 항상 저를 아껴주고 믿어주는 사랑하는 나의 아내 지민이와 내 사랑하는 다솜이와 동현, 그리고 항상 저를 아껴주시고 도움을 주신 직장 동료와 지인들에게 감사 드립니다.

권중기 올림