



저작자표시-비영리 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.

- 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](#)

공학석사 학위논문

PUR/CuSn 복합재료의 윤활
특성에 관한 연구



2012년 8월

부경대학교 대학원

제어기계 공학과

박 주 영

공학석사 학위논문

PUR/CuSn 복합재료의 윤활 특성에 관한 연구

지도교수 김 시 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2012년 8월

부경대학교 대학원

제어기계 공학과

박 주 영

박주영의 공학석사 학위논문으로 인준함

2012년 6월 5일



목 차

목차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
List of Photos	v
Abstract	vi
1. 서론	1
2. 실험 재료의 물성	3
2.1. PUR의 물성	3
2.2. CuSn의 물성	4
2.3. 경화제(MOCA)	6
3. 실험 및 방법	7
3.1 시편 성형 장치	7
3.2 시편 성형	11
3.3 실험 장치	15
3.4 실험 방법	18
4. 실험 결과 및 고찰	19
4.1 조직 분석	19
4.2 마모량 시험	21

4.3 마찰계수 시험	24
4.4 마모면 분석	29
4.5 경도 시험	31
 5. 결론	 33
참고문헌	34



List of Tables

Table.1	The properties of CuSn	5
Table.2	Mixing ratios of PUR and MOCA and CuSn in experimental specimens	13
Table.3	Relationship between friction coefficient and applied load	24

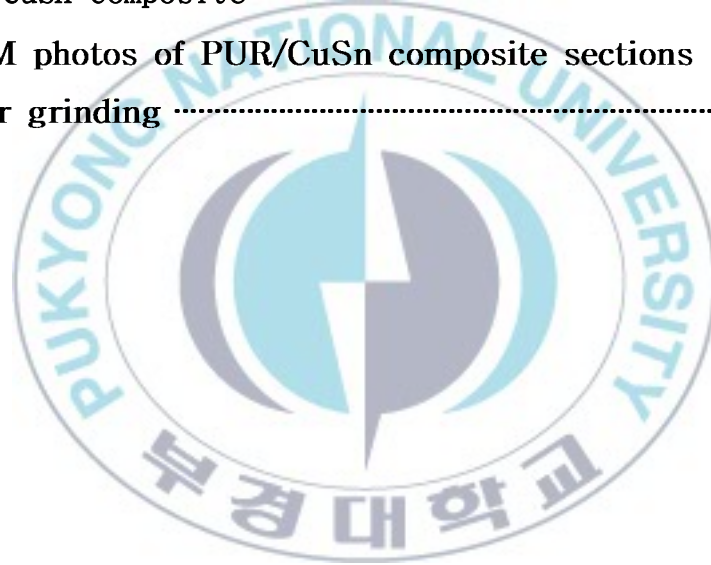


List of Figures

Fig. 1	The molecular structure of PUR	3
Fig. 2	The molecular structure of MOCA	6
Fig. 3	Schematic diagram of compression system	8
Fig. 4	Diagram of pin on disk wear apparatus	15
Fig. 5	Relationships between weight loss and lubricating sliding distance	21
Fig. 6	Relationships between weight loss and non lubricating sliding distance	22
Fig. 7	Relationship between friction coefficient and applied load	25
Fig. 8	Relationship between friction coefficient and velocity	26
Fig. 9	Relationship between friction coefficient and temperature	27
Fig. 10	Brinell hardness of tested specimens	31

List of Photos

Photo 1.	Photos of the equipment	9
Photo 2.	Compreser of the PU/CuSn composite	10
Photo 3.	Photos of MOCA and CuSn Powders	12
Photo 4.	Photos of the specimens of the PUR/CuSn composites	14
Photo 5.	Photos of the pin on the disk wear apparatus	17
Photo 6.	SEM photos of section before grinding PUR/CuSn composite	20
Photo 7.	SEM photos of PUR/CuSn composite sections after grinding	29



A Study on the Lubrication Properties of PUR/CuSn Composite
Materials

Joo-Young Park

*Department of control and mechanical Engineering
Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

Hydrodynamic lubrication is useful to reduce frictional resistance by charging a lubricant between the surfaces of the solids where relative motion is being made. Types of solid plastics that are industrially used as the solids are PTFE, FRP, PUR and etc. Among them the PUR has very strong intermolecular bonds and has great mechanical features such as high wear resistance, high hardness controlling capacity for the large parts, high elasticity modulus and impact resistance. It also has elasticity as well as strength like plastic and ceramic. Also, its energy consumption for manufacturing is low and it can be made with low cost. All these merits make it replace the metallic materials to the PUR and are increasingly being used more than before.

However, it is prone to be easily corroded by alkali and acid. Also, its' heat-resisting property is weak. Due to these shortcomings, it is used only for the low-speed tires, conveyor belts, electrical components and bearings. As such, a new complex material that would replace this material should have higher heat-resisting property and less friction properties.

In this regard, CuSn is great for its heat-resistance, corrosion resistance and wear resistance properties as additives. Despite its high price, CuSn is used as an additive reinforcing agent to the PUR for the bearing, bushing, cylinder and valve .

Therefore the lipid polydiol mixed with CuSn powder should be agitated homogeneously and then will be hardened to solid PUR/CuSn when mixed with MOCA additive.

This hardened PUR/CuSn can reduce the coefficient of friction, disperse kinetic energy of lubricative fluid, make the thickness of a boundary layer thinner, and also reduce frictional resistance of the surface of an object. Therefore, CuSn can be very useful as an additive to increase the efficiency of lubrication.

In consideration of these efficiencies of the PUR/CuSn, it was found to be very useful to increase the lubricating efficiency and other mechanical properties. By using many specimens of the PUR/CuSn, the researcher studied the relationships between the mechanical properties and the Ratio of PUR/CuSn contents by varying the CuSn Ratio in the PUR/ from 0% to 7.5%. The mechanical properties include the coefficient of friction, abrasion loss and the hardness of the material.

In other word, the researcher closely looked into how the structure analysis, the coefficient of friction, abrasion loss, and hardness of the materials were changed by varying the CuSn contents. In short, the PUR/CuSn with 7.5% contents of CuSn was found to have the highest mechanical merits in my study.

Furthermore, the more useful PUR/CuSn materials that could replace metallic materials as a lubricative material should be found by experimenting more case.

1. 서 론

조선산업이 성장함에 따라 선박의 건조 및 운항 면에서 건조 및 운항비 절감이 크게 대두 되고 있다. 특히 운항적 측면에서 선박 프러펠러를 비롯한 추진 축계의 내구성 관리가 매우 중요하다. 추진기축 선미관 베어링은 집중부하 및 토오크 하중이 발생하게 되고 해상의 격한 운항 환경 때문에 축계 스턴 튜브 베어링의 손상 사고가 빈번하게 일어나고 있어 기존의 소재보다 기계적 특성 및 내구성이 우수한 신, 재 개발이 시급하다.

선미축계 스턴 튜브 소재로 합성 수지인^{1~2)} 폴리우레탄의 소재가 많이 사용되고 있다. 그러나 폴리 우레탄은 사용상 강도를 보강하기 위하여 MoS₂, Glass Fiber, Carbon Fiber 및 흑연등을 첨가하고 경화제에 의하여 굳혀서 강도를 높여 내구성을 증가 시켜 왔다. 그러나 이러한 첨가제들은 해수 환경이라는 특수성 때문에 부식등 여러 문제점 등이 야기 되고 있다.

그리고 이들 첨가제 중에 청동소재는 해수환경의 부식뿐만 아니라 해수에 내 마모성 등이 우수하여 청동 프로펠러 및 청동 부시에 많이 사용되고 있다. 특히 청동 입자는 폴리 우레탄등^{3~4)} 합성 수지와는 결합성 및 강도 보강면에서 우수한 특성을 가지고 있으므로 베어링 등의 마찰 소재로 사용할 경우 에너지의 소비량이 낮고 저비용으로 성형할수 있는 특징이 있다. 또한 이 소재는 분자간의 결합성 및 넓은 범위의 강도 조절성, 내충격성등 기계적 특성이 우수하고 고무가 가지는 탄성과 함께 세라믹과 같은 금속의 물성도 함께 지니고 있어 해수용 으로 그 사용이 증가되고 있다. 그리고 CuSn의 가격은 고가이나 내식성과 내마모성, 내열성이 우수하여 선미관이 요구하는 복합적인 기능을 충족시킬수 있어 첨가제^{5~7)}로서 적용이 가능할 것이라 본다.

그러므로 본 연구에서는 선미축계 유 윤활 스텐튜브 마찰의 내구성 소재 강화의 일환으로 폴리우레탄에 CuSn 분말가루를 합성하여 소재를 성형하였다. 그리고 성형된 복합소재의 조직분석, 유 윤활 마찰계수, 소재 마모량 및 소재 경도의 변화등을 고찰 분석 하였으며, 이러한 거동이 선미관의 소재로서 적합한지 검토하였다.



2. 실험 재료의 물성

2.1 PUR의 물성

폴리우레탄의 제조에는 여러 성분이 들어가지만, 주성분인 폴리디올과 디이소시아네이트로부터 만들어지며 이것들의 성질에 따라서 폴리우레탄의 성질이 달라질 수 있다. 폴리디올은 폴리에테르, 폴리에스터 및 폴리에틸렌 등 일반적으로 유연한 구조를 가지고 있고, 디이소시아네이트는 경직된 구조를 가지고 있다. 폴리디올의 유연성은 폴리디올의 종류와 사슬의 길이 즉 분자량에 따라서 유연성에 차이가 나게 된다. 디이소시아네이트의 경직성은 디이소시아네이트의 종류와 분자량의 변화에 따라서 그 경직성이 영향을 받게 된다. 그리고 우레탄 결합의 수소결합을 고려하면, 매우 다양한 유연성과 경직성을 가진 PUR이 생성되고 분자 구성은 Fig.1과 같다. 그리고 다음과 같이 2가지 형태로 나눌 수 있다.

Soft segment 구조는 폴리에테르나 폴리에스터 디올의 구조로서 사슬이 유연하며 Hard segment 방향족 고리 구조를 가진 디이소시아네이트와 수소결합을 할 수 있는 경직된 구조이다.

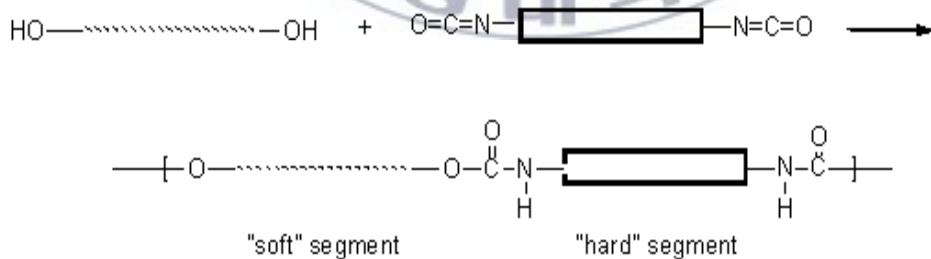


Fig.1 The molecular structure of PUR

2.2 Cu-Sn의 물성

청동은 구리와 주석이 주성분이다. 청동은 강하고 잘 닳거나 부서지지 않으며, 녹도 좀처럼 슬지 않는다. 녹는점은 $1,010^{\circ}\text{C}$ 이고 주조하기 좋아서 베어링이나 밸브 등위의 재료나 그 밖의 일반 기계 부품에도 널리 쓰인다. 주석의 양이 많아질수록 흰색에 가까워지다가 30%가 되면 완전히 흰색이 된다.

기계 재료로서 쓰이는 주석의 양은 20% 이하인데, 주로 4~12% 이다. 주석이 10%정도이면 기계적 성질이 좋아서 펌프, 수도 밸브, 기어 따위에 쓰이고, 13~18%인 것은 단단하고 강하므로 베어링 등에 많이 쓰이며 또한 Cu, Sn계 합금 또는 Sn일부를 다른 원소로 바꾼 것을 의미하나 Sn를 함유하지 않고 Al, Si 등을 첨가한 합금도 알루미늄 청동, 규소 청동이라 부르며 황동에 소량의 Mn, Ni 등을 첨가한 것도 망간청동 니켈청동이라 한다. 넓은 의미로 청동이라 함은 Cu를 주성분으로 Cu-Zn계 이외의 것으로 강하고 단단하며 녹슬지 않는 합금을 말한다.

청동은 순동이나 황동에 비하여 주조성이 좋고 부식에 강하며 종, 화폐, 미술공예품, 일용품, 밸브류, 선박용판, 동상, 탄성을 요하는 스프링 이외에 병기, 기계의 부품, 베어링 재료, 전기, 반도체 재료에도 사용된다. 물리적 성질로는 비중 및 선팽창률은 순구리와 비슷하며 전기전도율은 주석의 함유량에 따라 급격히 감소하며 각각의 함유량은 Table 1 과 같다.

Table 1. The properties of CuSn

Sign	wt%					Tension test	
	Cu	Sn	Zn	Pb	Impurities	Mpa	Elongation
BRC1	86.0~90.0	7.0~9.0	3.0~5.0	1.0	1.0	2.5	20
BRC2	86.5~89.5	9.0~11.0	1.0~3.0				15
BRC3	81.0~87.0	4.0~6.0	4.0~7.0	3.0~6.0	2.0	2.0	
BRC4	86.0~90.0	5.0~7.0	3.0~5.0	1.0~3.0	1.5	2.2	18
BRC5	79.0~83.0	2.0~4.0	8.0~12.0	3.0~7.0	2.0	1.7	15

2.3 경화제 MOCA

MOCA(4,4'-methylenebis(2-chloroaniline))는 폴리우레탄 제품을 만들기 위해 주로 사용되는 합성 화학 물질^{8~11)}이다. 폴리우레탄 탄성체의 가교제로 널리 사용되고 있는 MOCA는 현재 독성이 높은 물질로 분류되어 있기 때문에 머지않아 사용이 제한될 전망이다.

순수 MOCA는 무색, 결정 고체이지만, 일반적으로 사용되는 경화제는 일반적으로 황색, 황갈색 또는 갈색으로 존재하며 Fig.2와 같은 구조를 가진다.

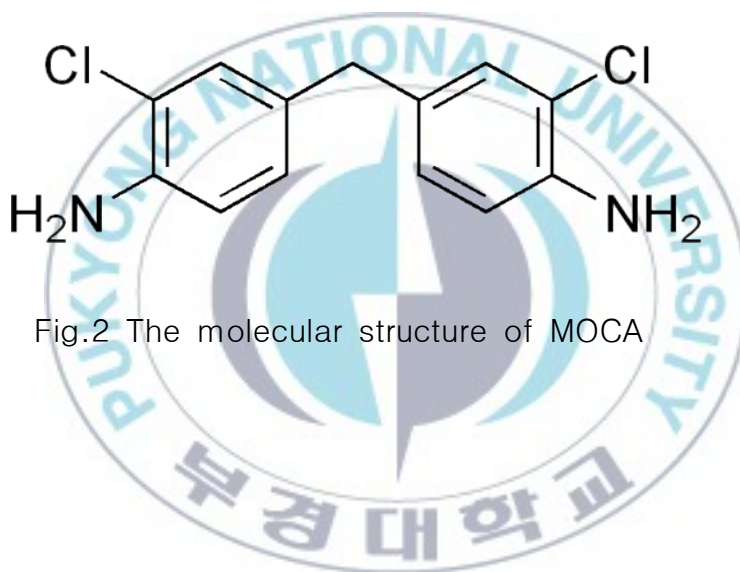


Fig.2 The molecular structure of MOCA

3. 실험 및 방법

3.1 시편 성형 장치

Fig.3은 본 실험실에서 자체 설계한 실험장치^{12~13)}로써 그 개략도를 나타낸 것이다. 이 성형장치의 최대온도는 400℃까지 시편을 성형할수 있으며 압력은 1.000Mpa 까지 상승할수 있게 구성되었다.

먼저 실험 장치의 각 부품의 구성은 Photo 1과 같다. 전력을 공급하는 전원 장치와 온도를 측정할 수 있는 서모미터가 통합된 전원부(a), 가열하는 히터의 온도를 측정, 조정하는 온도 컨트롤러 장치(b), 압력을 올릴 수 있도록 유압식 잭을 설치한 압력 장치(c), 시편을 가압 성형하기 위한 소재 성형틀과(d), 그리고 압력 게이지(e)를 설치하였다.

그리고 장치의 동작방법은 다음과 같은 순서로 실시한다.

1) 먼저 PUR와 CuSn을 각 실험 조건에 맞게 배합하여 황동 다이스(4)에 넣은 후 유압식 잭(3)을 장착하여 다이스를 상승, 하강시켜 가압한 후 PUR 시편을 제작하고 그 시편을 110℃에서 소결하였다.

2) 압력은 50MPa 로 가압 성형하는데 게이지(5)압력을 천천히 상승시켰다. 이것은 급격한 압력 상승에 의해 더 많은 힘이 가해지는 것을 방지하기 위해서이다.

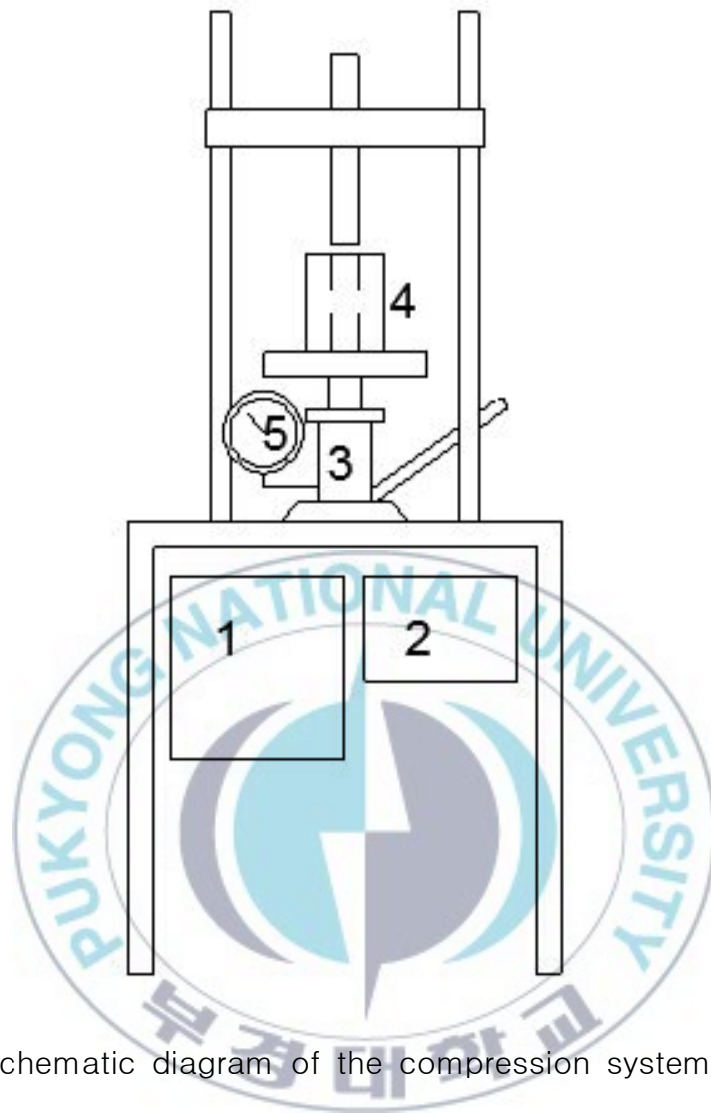


Fig.3 Schematic diagram of the compression system

- 1) Power supply
- 2) Digital controller
- 3) Jack
- 4) Circular cylinder dies
- 5) Pressure gauge



(a) Power supply



(b) Digital controller



(c) Jack



(d) Circular cylinder dies



(e) Pressure gauge

Photo 1. Photos of the equipment



Photo 2. Compressor of the PUR/CuSn Composites

3.2 시편 성형

폴리우레탄 수지 제품을 성형하는 방법으로는 압축성형, 압출성형, 사출성형 등 여러 가지 방법이 있지만 본 실험에서는 실험실에서 자체개발한 압축성형기 Photo 2를 사용하여 시편을 제작하였고 사용된 폴리우레탄 수지로는 이탈리아 ERA의 ET-75D를 사용하였다

그리고 경화제로 4,4'-methylenebis(2-chloroaniline)를 사용하였으며 실험에 사용된 PUR 및 CuSn은 아래 Photo 3에 나타내었으며 시편의 제조 비율은 Table 2에 나타내었다.

그리고 시편의 제작 순서는 다음과 같이 하였다.

- 1) 폴리올과 경화제, CuSn을 비율에 맞게 측정 한다.
- 2) 시편 제작에 사용될 PUR수지의 무게는 시편 제작에 사용하는 다이스의 부피를 고려하여 100g으로 하였고 이 무게를 기준으로 CuSn의 첨가량을 0.0g, 2.5g, 5.0g, 7.5g으로 정한 뒤 저울을 이용하여 측정 하였다.
- 3) 125℃에서 녹인 경화제 MOCA를 혼합하여 1분간 교반한다.
- 4) 시편 제작용 다이스 (4)에 충분히 교반된 PUR/CuSn을 넣는다.
- 5) 유압 잭 (3)를 상승시켜 50MPa의 압력으로 60분간 압축한다. 이 때 압력 게이지 (5)에 측정되는 값은 kgf/cm²으로 표시되며 이것을 50MPa로 전환하여 계산한다. 그리고 시편 제작용 다이스를 가열하여 110℃로 1시간 1차 경화를 하였다.
- 6) 다이스에서 압축된 시편을 꺼낸 후 110℃의 온도에서 15시간 2차 경화를 하여 최종 시편을 완성하였다.



(a) MOCA powders



(b) MOCA liquids(125℃)



(c) CuSn powder in the bottle



(d) CuSn Powders

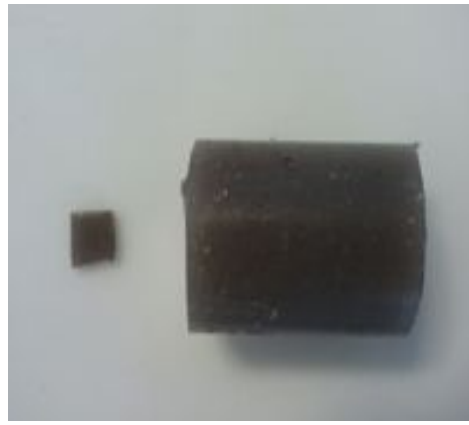
Photo 3. Photos of MOCA and CuSn Powders

Table 2. Mixing ratios of PUR, MOCA and CuSn in experimental specimens

Specimens	PUR(wt%)	MOCA(wt%)	CuSn(wt%)
a	69.50	30.50	0.0
b	68.25	29.25	2.5
c	67.00	28.00	5.0
d	65.75	26.75	7.5

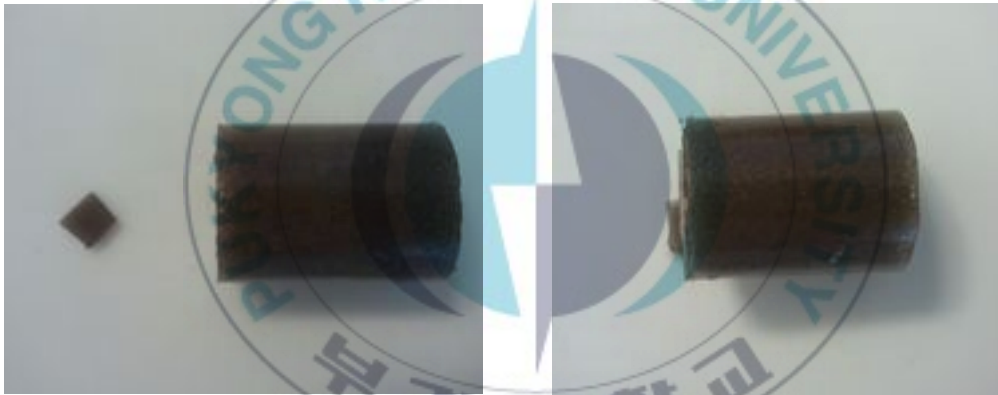
시편의 제조 비율은 주제인 폴리올과 경화제인 MOCA 비율을 69.5%(Wt %)와 30.5%(Wt %)의 비율로 하고 강화제인 CuSn을 0.0wt%, 2.5wt%, 5.0wt%, 7.5wt% 비율로 각각 첨가 혼합하여 시편을 제조 하였고 완성된 시편은 Photo 4에 나타 내었다.





(a) CuSn 0.0 wt%

(b) CuSn 2.5 wt%



(c) CuSn 5.0 wt%

(d) CuSn 7.5 wt%

Photo 4. Photos of the specimens of the PUR/CuSn composites

3.3 실험장치

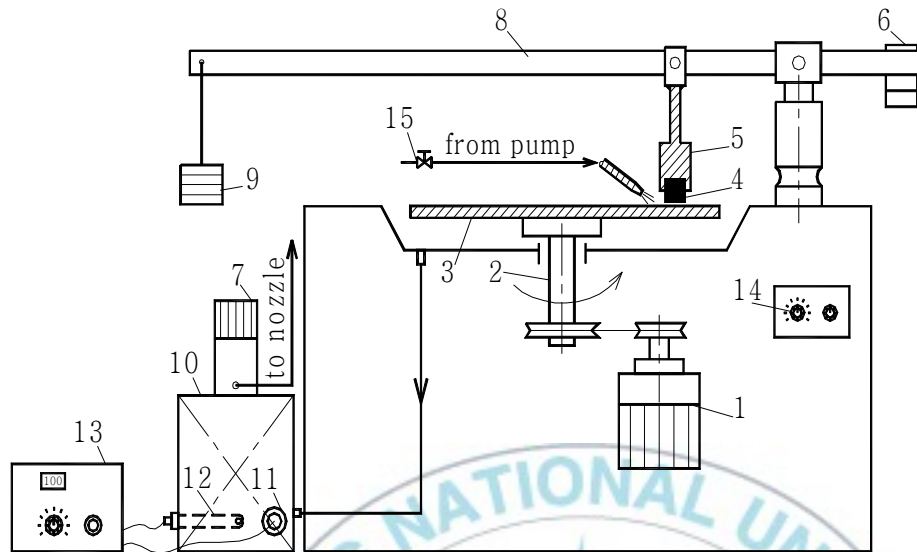


Fig.4 Diagram of the pin on the disk wear apparatus

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1) Drive motor | 9) Load |
| 2) Shaft | 10) Oil tank |
| 3) Disc | 11) Temperature sensor |
| 4) Pin-specimen | 12) Heater |
| 5) Specimen holder | 13) Control box (for heater) |
| 6) Counter load | 14) Speed control volume |
| 7) Oil pump | 15) Valve |
| 8) Load level | |

Fig.4는 마찰마모 실험장치의 개략도이며 사진은 Photo 5에 나타나었다.

드라이브 모터(1)가 회전을 하면 연결된 벨트에 의해 샤프트(2) 회전을 하게된다. 샤프트에 접합된 황동디스크(3)가 회전을 시작하며 제작된 시편(4)과 마찰 마모시험을 수행하게된다. 제작된 시편(4)가 마찰 마모시험을 수행할 때 고정시키는 역할을 하는장치가 시편홀더(5)의 역할이며 하중실험을 실시할 때 로드(9)에 하중을 걸어주게 된다. 유유허 실험을 실시할 때 필요한 윤활유를 저장하는 오일탱크(10)에서 오일펌프(7)를 통하여 노즐밸브(15)를 통하여 황동디스크에 뿌려주게 된다. 온도 시험시 윤활유에 열을 가해주는 히터(12)가 있으며 열이 가해진 온도를 측정하는 온도센서(11)이 있다. 실험에 맞는 온도를 조절하는 장치는 콘트롤박스(13)이며 황동디스크의 속력을 조절하는 장치는 스피드컨트롤(14)이다.





Photo 5. Photos of the pin on the disk wear apparatus



3.4 실험 방법

본 실험에서는 제작된 시편에서 윤활유와 마찰, 마모에 있어 성능 향상에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 윤활 마찰을 실시하였고 실험 후 시편의 마찰면의 조직을 관찰하기 위해 전자주사현미경을 사용하여 특성을 알아보고 마찰 계수 등을 측정하였다.

제작된 시편을 이용하여 마찰 마모 실험을 Fig.4를 통해 실시하였다. 그 순서는 다음과 같다. 먼저 실험 실시 조건을 정하고 난 후 하중을 걸 Load(9)에 추를 달고, 제작된 시편(4)을 홀더(5)에 설치한다. 이후 속도 조절 장치(14)를 이용하여 디스크(3)를 회전시킨다.

무윤활 마찰의 경우와 달리 윤활 마찰의 경우 윤활유를 공급하는데 오일 탱크(10) 내부에 윤활유를 넣고 펌프(7)를 통해 디스크에 뿌려준다. 이 때 양을 조절하기 위해 밸브(15)를 통해 윤활유의 양과 속도를 조절하였다. 시편과 마찰이 된 후 윤활유는 다시 윤활 탱크로 들어가 펌프를 통해 다시 공급되도록 하였다. 그리고 마찰 계수(C_f), 마모량 등을 구하였다.

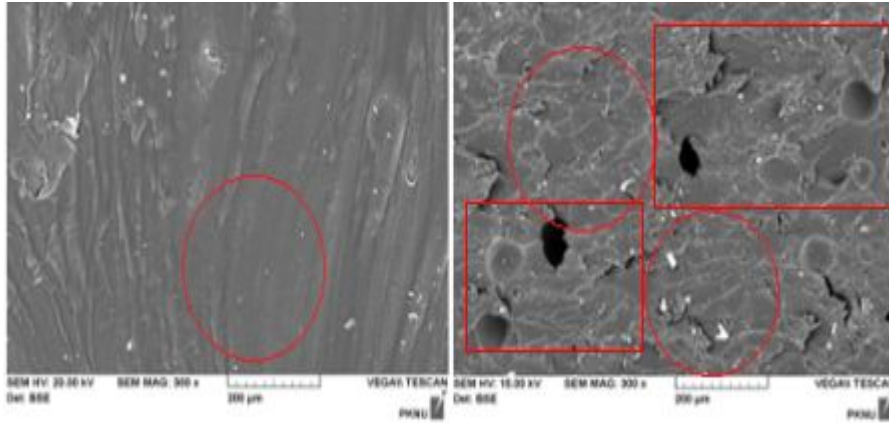
4. 실험결과 및 고찰

4.1. 조직 분석

제작된 각 시편의 마모 현상을 알아보기 위해 제작된 시편을 주사전자현미경(S-2700, HITACHI사, Voltage 0.2~30Kv)을 사용하여 촬영하였고 제작된 시편의 조직을 관찰한 모습을 Photo 6에 나타내었다.

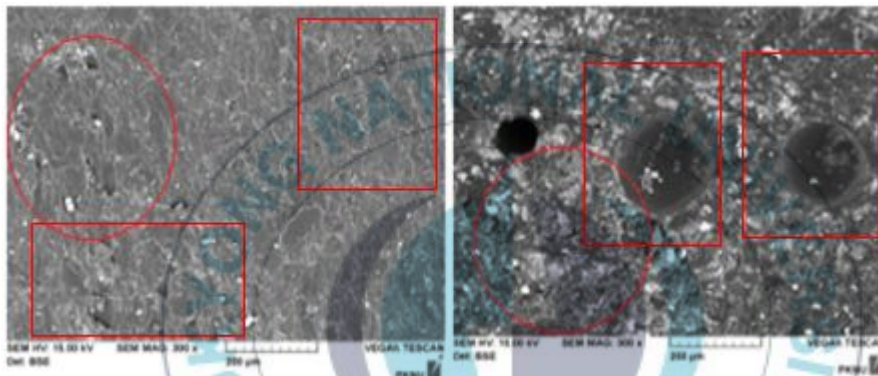
여기서 시편(a)는 순수 PUR만으로 제작된 시편이며 (b),(c),(d)는 CuSn의 양을 각각 2.5wt%, 5.0wt%, 7.5wt%씩 첨가한 시편이다. Photo6 에서 보는 바와 같이 PUR만으로 제작된 시편 (a) CuSn 0.0wt%에서는 청동 분말이 나타나지 않았으며 (b) CuSn 2.5wt%에서 흰점으로 보이는 청동분말과 동시에 기포(□)의 생성도 존재하는 것을 볼수있다. (c) CuSn 5.0wt%는 청동분말의 존재(O)가 더욱 많이 나타 났으며 전체적으로 CuSn분말이 고루 퍼졌음을 확인할수 있다. (d) CuSn 7.5wt%역시 가장 큰 기공이 보이며 CuSn분말이 가장 많이 존재하는 것을 확인할 수 있었으며 마찰의 흔적은 보이지 않았다.

그리고 기공이 보이는 이유는 MOCA를 교반할 때 완전한 진공 상태가 아니었고 또한 소재가 경화되는데 시간이 1분밖에 되지 않아 충분한 교반을 거치지 못하고 형틀에 주입하여 생긴 것이라 판단된다.



(a) CuSn 0.0wt%

(b) CuSn 2.5wt%



(c) CuSn 5.0wt%

(d) CuSn 7.5wt%

Photo 6. SEM photos of section before grinding PUR/CuSn composite

4.2 마모량 시험

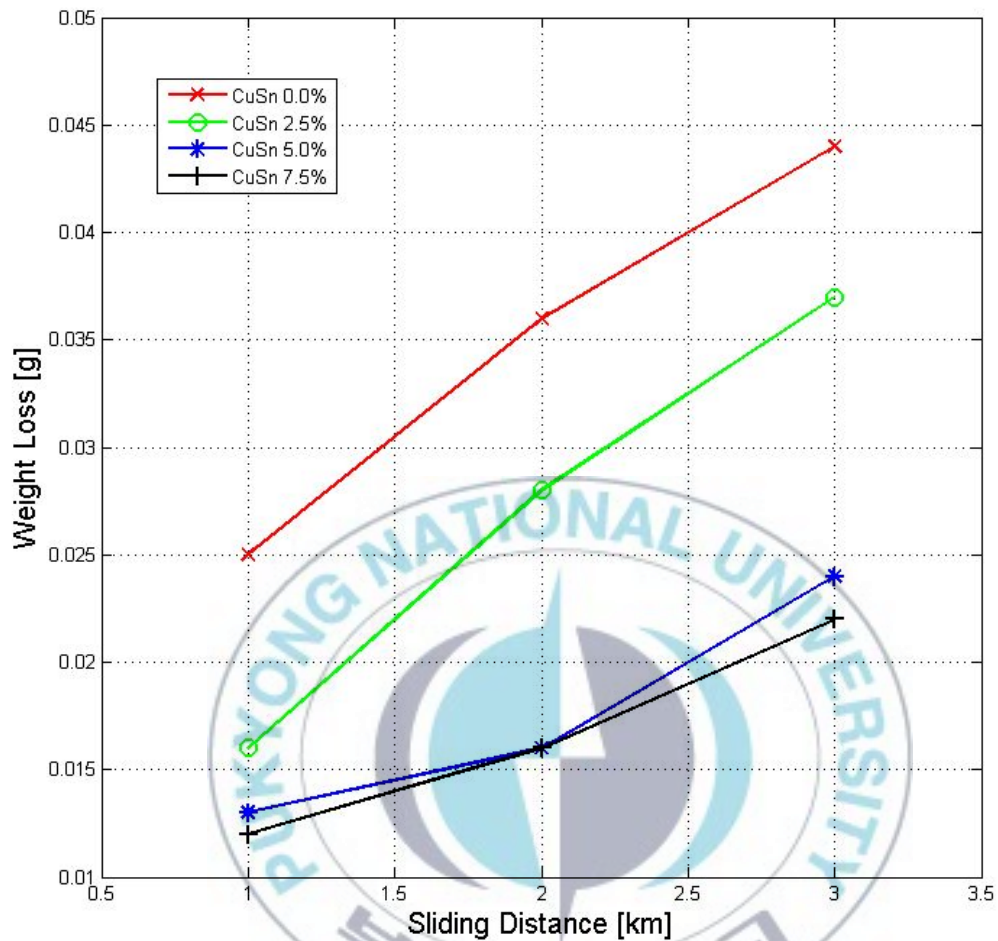


Fig.5 Relationships between weight losses and lubricating sliding distance

Fig.5는 1.0m/s의 속도로 1km, 2km 및 3km로 거리의 변화에 따른 윤활 마찰의 마모량의 변화를 나타낸 그래프이며, 보이는 바와 같이 마찰거리의 증가에 따라 마모량이 증가하는 현상을 보이나 CuSn의 첨가량이 많을수록 마모량이 적은 것으로 나타났다. 이는 PUR에 첨가된 CuSn

분말 가루가 기계적 강도를 증가시켜 마모를 방해하는 것으로 판단되며 MOCA와 교반할 때 생긴 기공으로 윤활유가 스며들어 윤활막을 형성 마모를 줄이는 것으로 판단된다.

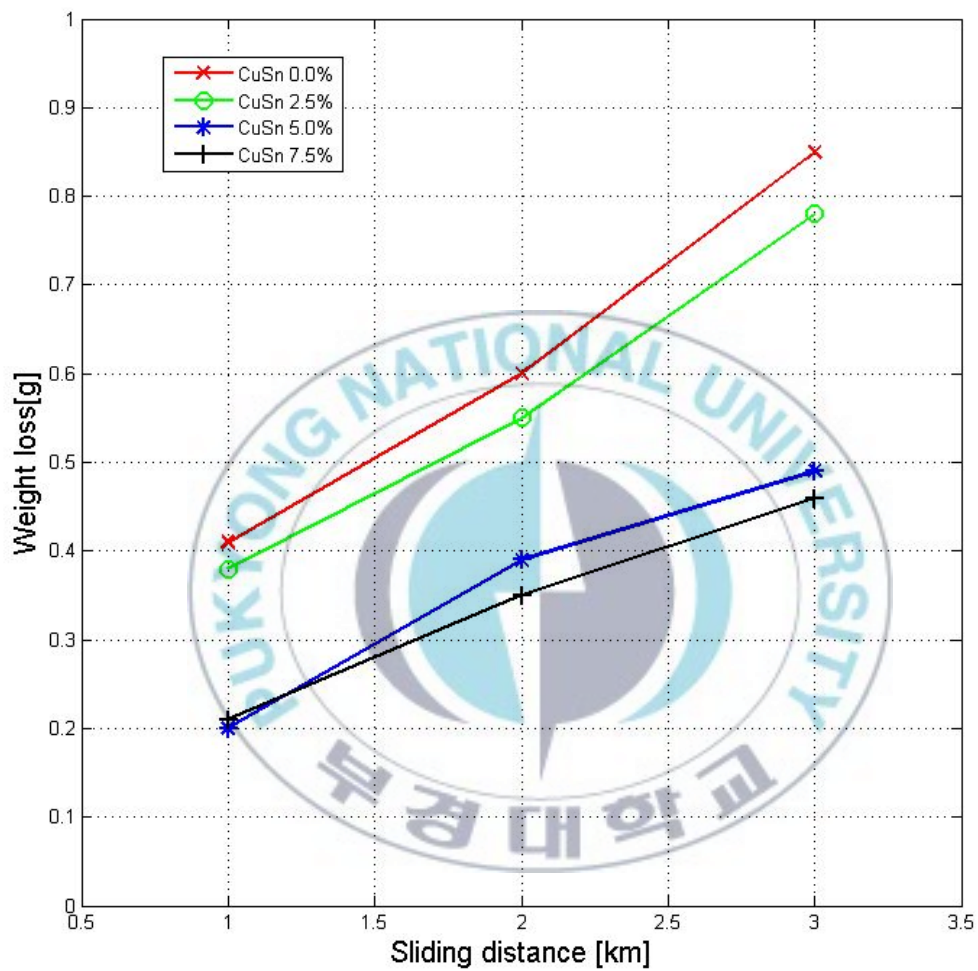


Fig.6 Relationships between weight loss and non lubricating sliding distance

Fig.6은 1.0m/s의 속도로 1km, 2km, 3km로 거리에 따른 무윤활 마찰을 실시하여 그 결과를 나타낸 그래프이며 그래프에서 보이는 바와 같이 순수PUR(a)와 시편(d) CuSn 7.5wt%는 마모량이 두배정도 차이가 나는 것을 확인할수 있다. 시편(b) CuSn 2.5wt%는 순수PUR와 차이가 크게 나지는 않았으나 (c) CuSn 5.0wt% 시편과 (d) CuSn 7.5wt%와 비슷한 마모량을 나타내었다. 무윤활 마찰에서 마모량의 증가는 윤활유가 없어 유막을 형성하지 못하였고 기공이 파괴되면서 표면거칠기가 증가하여 마모량이 증가한 것으로 판단되며 CuSn이 5.0wt%함유된 시편 (c)와 7.5wt%함유된 시편(d)는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 확인되었다.



4.3 마찰계수 시험

마찰계수 측정을 위하여 적용하중을 30N, 40N, 50N으로 변화시켜 측정하였으며 실험조건은 미끄럼속도 1.0m/s, 실험온도는 30℃에서 측정하였고 얻어진 결과는 Table 3에 기록하였으며 Table 3의 결과를 Fig.7 그래프로 나타내었다.

Table 3. Relationship between friction coefficients and various applied load

	CuSn wt%	30N	40N	50N
a	0 %	0.0204	0.0216	0.0224
b	2.5 %	0.0202	0.0210	0.0220
c	5.0 %	0.0197	0.0200	0.0209
d	7.5 %	0.0194	0.0197	0.0204

Fig.7 의 실험에서 순수PUR (a)와 CuSn 2.5wt%가 함유된 (b)는 마찰계수가 일정하게 증가하는것을 확인할수 있었다.그리고 시편(c) CuSn 5.0wt%는 하중이 30N일때 (a) 순수 PUR과 (b) CuSn 2.5wt%보다 낮은 마찰계수를 나타내었고 하중이 40N일때 증가 폭이 작았으며 하중이 50N일때 큰폭으로 마찰계수가 증가하였다.시편(d) CuSn 7.5wt%의 경우도 증가치가 40N일때 작았으며 50N 일때 큰폭으로 증가하는것을 확인하였고 (c) CuSn 5.0wt%보다 낮은 마찰계수를 확인했다.

이는 하중이 증가할수록 압력이 높아져 소성유동에 의해 유막의 파괴가 일어나고 황동디스크와의 진실접촉면의 압력이 높아져 직접적인 접촉이 발생하기 때문에 CuSn의 분포량이 마찰계수의 감소화에 기여하는 것으로 확인 되었다.

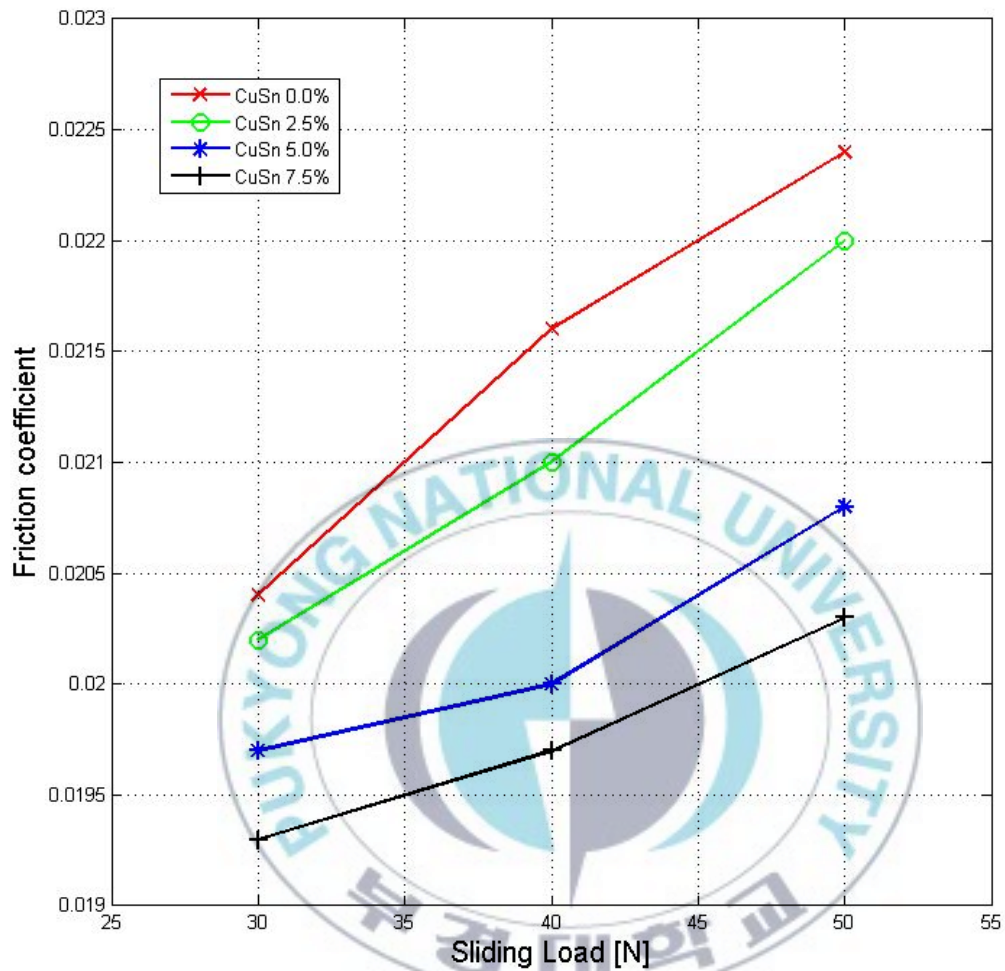


Fig.7 Relationship between friction coefficients and various applied loads

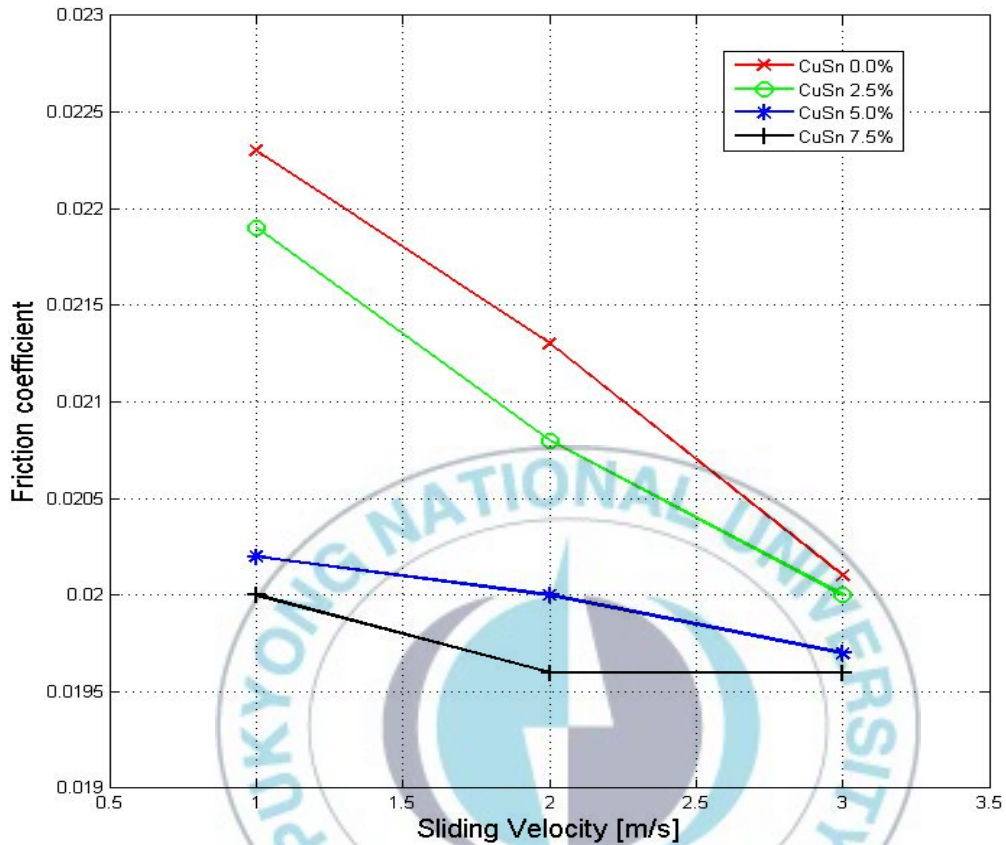


Fig.8 Relationships between friction coefficients and velocities

Fig.8은 미끄럼 속도의 증가에 따른 마찰계수 측정을 위하여 속력을 1m/s, 2m/s, 3m/s로 각각 변화시켜 측정하였고 총진율에 따른 변화를 Fig.8에 그래프로 나타내었다. 시편(a) 순수 PUR의 경우 마찰계수 변화폭이 가장 크게 나타났으며 이는 (b) CuSn 2.5wt%, (c) CuSn 5.0wt% 및 (d) CuSn 7.5wt% 첨가된 시편보다 전단저항이 낮기 때문인 것으로 판단되며 속도가 증가할수록 마찰계수가

감소하는 것을 확인하였는데 이는 표면마찰열이 점차 상승하여 고온이 되기 때문에 응착마찰력이 감소하며 마모막이 쌓여 응착마모된 공간을 메우며 이것이 표면을 보호하기 때문에 정상마모로 진행이 이루어지며 따라서 마찰계수도 감소하는 것이라 판단된다.

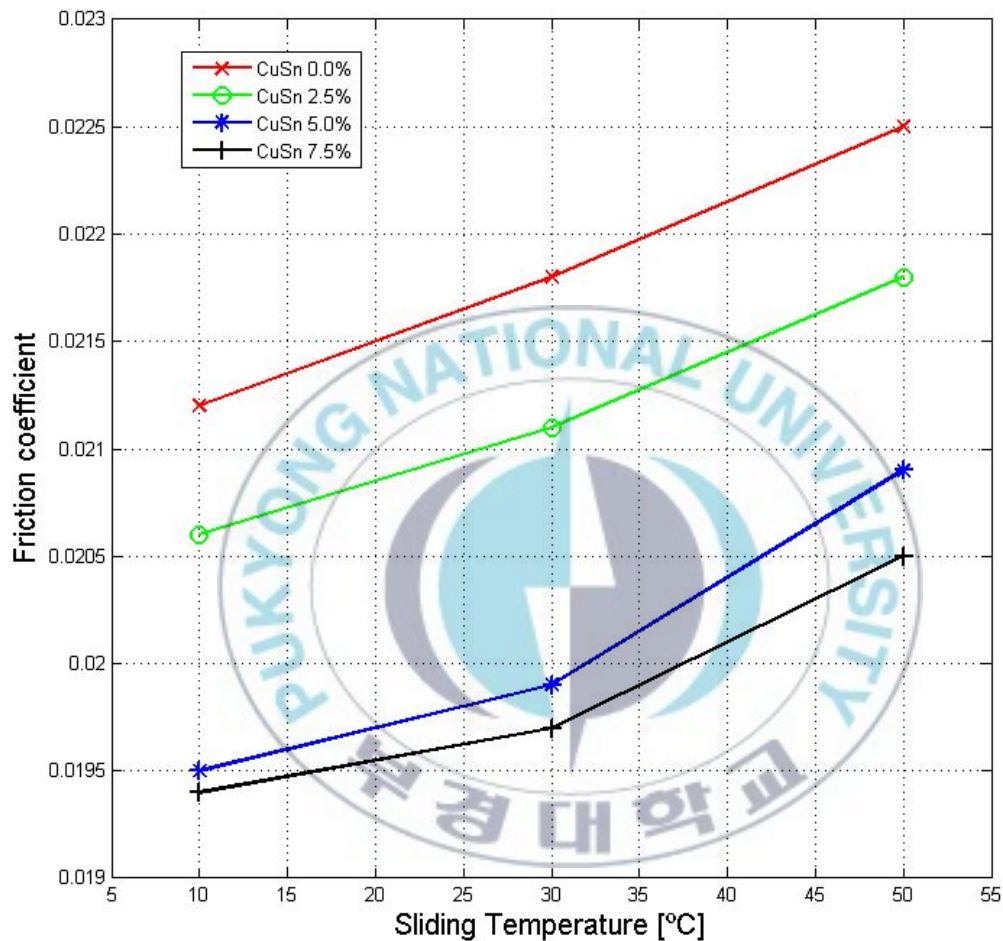
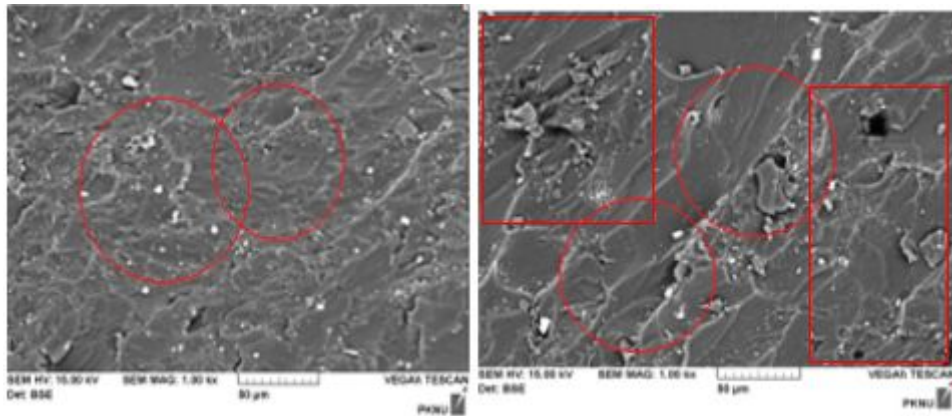


Fig.9 Relationship between friction coefficient and temperatures

Fig.9는 마찰계수 측정을 위하여 온도를 각각 10℃, 30℃, 50℃ 로 변화 시켜 실험하여 결과값을 그래프로 나타내었다. 10℃ 조건에서 (a) 순수 PUR 과 (b) CuSn 2.5wt%는 온도가 상승할수록 일정하게 마찰계수가 증가하는 경향을 확인할수 있었으며 (c) CuSn 5.0wt%, (d) CuSn 7.5wt%는 (b) CuSn 2.5wt%보다 더 낮은 마찰계수를 나타내었으며 50℃ 조건에서 (c) CuSn 5.0wt%가 (d) CuSn 7.5wt%보다 마찰계수가 증가하였다. 이러한 경향을 나타내는 것은 온도가 증가할수록 PUR이 마찰할 때 폴리우레탄의 열에 의한 연성이 커져 소성변형을 일으켜서 PUR 연성조직화 경향이 마찰력 증가에 큰 영향을 주는 것이라 생각되며, 또한 CuSn의 영향보다도 PUR 조직이 마모에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

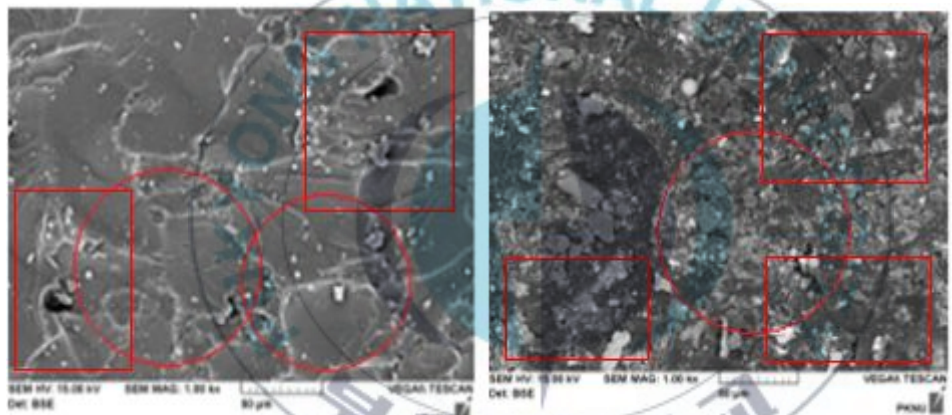


4.4 마모면 분석



(a) CuSn 0wt%

(b) CuSn 2.5wt%



(c) CuSn 5.0wt%

(d) CuSn 7.5wt%

Photo 7. SEM of PUR/CuSn composite sections after grinding

Photo 7은 윤활유온도 30℃, 하중 10N 및 1.0m/s의 속도로 윤활 마찰을 실시한 후 시편의 마찰면을 확대하여 찍은 사진이다. (a) 순수 PUR 시편의 경우는 비교적 깨끗한 단면을 나타내고 있으며 CuSn첨가량 2.5wt% 및 5.0wt%의 경우, 흰색가루가 증가하며

기공으로 마모잔해물이 들어있는 것을 확인할수 있다. 가장 큰 기공이 존재하던 (d) CuSn 7.5wt%에서 잔해물이 기공으로 응착되어 기공이 보이지 않게 되었으며 이것으로 미루어 기공에 존재하는 잔여물이 윤활유를 흡수하여 마모저항을 줄이는 것으로 판단된다.



4.5 경도시험

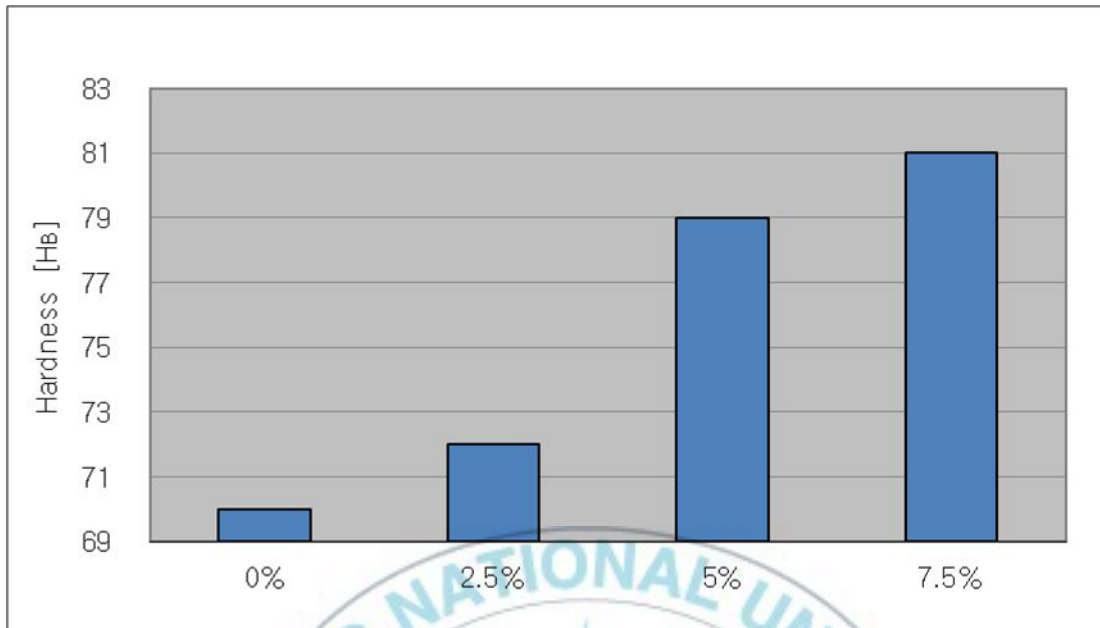


Fig 10. Brinell hardness of tested specimens

Fig.10 의 그래프는 압력 50Mpa, 온도 115℃에서 폴리디올에 CuSn을 함량별로 넣고 경화제 MOCA를 적정비율로 섞어 성형되어 나온 시편에 브린넬 경도계(TECLOCK 사의 GS-702N)에 가압하중 10N으로 경도를 5번 같은조건에서 측정하여 평균 측정하여 나온 결과값을 나타낸 그래프이다. 순수 PUR의 경우는 70D가 측정되었고 CuSn 2.5wt%는 72D가 측정되어 경도값이 상승하는것을 확인하였다. 그러나 CuSn 5.0wt%를 측정한 결과 79D가 측정되어 큰 값의 증가를 보였으며 CuSn 7.5wt% 도 81D가 측정되었다.

본 실험을 통해 브리넬 경도를 측정한 시편 CuSn 7.5wt%는 기존의 소재 시편 CuSn 0wt%보다 19%나 높은 경도값 상승을 보여주고 있으며 이 이유는 CuSn 의 함유량(2.5~5.0Wt%)조각이 매우

치밀한 것으로 보아 경도값이 크게 증가한 것으로 생각되며 이 소재는 저속용 바퀴나 베어링 등의 소재로 사용하기에 적합하고 내마멸성과 내구성도 좋아질 것으로 생각된다.



5. 결 론

PUR에 CuSn을 각각0wt%, 2.5wt%, 5.0wt%, 7.5wt% 첨가하여 성형된 시편을 제작하였으며 제작된 시편을 이용하여 마찰시험 적용 하중은 30N, 40N및 50N으로 실시하였고 윤활유 온도는 10℃, 30℃및 50℃로 온도시험을 실시하였으며, 미끄럼 속도는 1m/s, 2m/s과 3m/s로 변화시켜 마찰시험을 실시하였다. 그리고 그 시험편을 이용하여 브리넬 경도를 측정하였으며, 그 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 미끄럼 속도및 CuSn 함량의 증가에 따라 마찰력 감소화에 기여하는 것으로 확인 되었으며, 이는 CuSn의 증가에 의한 기포분포의 증가로 윤활에 기여하는 것으로 판단된다.
- 2) 온도가 증가할수록 CuSn 함량이 많은 시편이 마찰계수가 증가하는 것을 확인하였고 이는 PUR이 마찰할때 폴리우레탄의 열에 의한 연성이 커져 소성변형을 일으켜서 PUR 연성 조직화 경향이 마찰력 증가에 큰 영향을 주는 것으로 확인 되었다.
- 3) 첨가제 CuSn 함량이 5.0wt% 에서부터 브리넬 경도가 급격히 증가(15%) 하였으며 이는 첨가 CuSn 과 폴리우레탄의 최적의 배합 으로 조직 사진에서 처럼 치밀한 조직이 확인된 것으로 보여진다.

앞으로 경화제의 종류 및 CuSn 의 첨가량을 달리 함으로써 PUR의 물성을 변화시킬 수 있는 연구가 계속 되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- 1) 심현해, 권오관, 이규한, “PTFE-폴리이미드 복합재료의 마찰과 마모에 대한 성분비와 온도의 영향”, 윤활학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 55~62(1996)
- 2) 김용직, 김윤해 “첨가제에 의한 PTFE 복합재료의 마찰마모 특성에 관한 연구”, 한국 복합재료 학회지, pp.11~18(2000.8)
- 3) R. Frake, D. Lehmann and K. Kunze, "Tribological behaviour of new chemically bonded PTFE Polyamide compounds", Wear, Vol. 262, No. 3 ~4, pp. 242~252(2007)
- 4) N. T. Quang, "Tribological Behavior of Cu Nano-Particles Impregnated PTFE", 부경대학교 학위논문(2009)
- 5) 이진호, 김현수, 이현삼, 김태규, "PTFE 코팅의 Tribology 특성", 한국기계기술학회 춘추계학술대회 논문집, pp. 367~372(2008)
- 7) J. Y. Lee, D. S. Lim, "Tribological behavior of PTFE film with nanodiamond", Surface & coatings technology, Vol. 188~189, No. -, pp. 534~538(2004)
- 8) J. Khedkar, I. Negulescu, E. I. Meletis, "Sliding wear behavior of PTFE composites", Wear, Vol. 252, No. 5~6, pp. 361~369(2002)
- 9) Y. Tanabe and E. Yasuda, "Science and Application of New Carbon", The Cent. mem. Iss. of The Ceram. Soc. Jap., Vol. 99, No. 10, pp. 1069(1991)
- 10) 김도현, 김청균, “복합소재 O링의 압축 변형 특성에 관한 연구”, 윤활학회지, Vol. 21, No. 4, p 171~176(2005)
- 11) 지창현, 이종순, 이태구 “접선각 마찰기구를 이용한 윤활특성에 관한 연구” 전북대학교 학위논문(1986)
- 12) 김호승, 김시영, 주창식 “선미관 베어링용 PU/MoS₂ 합성소재의 해수윤활에

관한 연구” 부경대학교 학위논문(2011)

- 13) 김호양, 김시영 “다공성 PTFE 복합재료의 마찰과 마모에 관한 연구” 부경대학교 학위논문(2011)

