

# MLD드릴링 가공에서 밀폐커버와 POSS타입 절삭유의 효과

박기범\*, 조영태\*, 신동수\*\*, 정윤교\*:#

\*창원대학교 기계공학과 \*\*창원대학교 화학과

## The Effect of a Sealed Cover and POSS-type Cutting Oil on MQL Drilling

Ki-Beom Park\*, Young-Tae Cho\*, Dong-Soo Chin\*\*, Yoon-Gyo Jung\*:#

\*School of Mechanical Engineering, Changwon UNIV. \*\*Department of Chemistry, Changwon UNIV.

(Received 25 October 2016; received in revised form 23 November 2016; accepted 25 November 2016)

### ABSTRACT

When drilling through Inconel 601 nickel-chromium-based alloys, a large amount of cutting oil is required to prevent tools from wear and fracturing due to heat buildup resulting from the high temperature resistance and toughness of this alloy. However, cutting oil supply has become a factor compromising the machining environment, and this has caused attention to shift to a more environmentally friendly cutting fluid supply system called minimum quantity lubrication (MQL). Our aim in this study was to find a more efficient drill processing method using MQL, and to verify its performance. To that end, we proposed a sealed cover, a step feed, and POSS-type cutting oil as measures to increase the effectiveness of MQL in view of the cutting force and tool wear, and established an improvement in efficiency using the proposed measures.

**Key Words :** MQL(최소유량윤활), POSS Type Cutting-oil(포스타입절삭유), Inconel 601(인코넬 601), Drilling(드릴링)

### 1. 서 론

대표적인 초내열 합금인 인코넬(Inconel)은 높은 강도와 인성을 가지고 있을뿐만 아니라 우수한 크립 특성, 높은 고온강도 및 내부식등의 강한 장점을 지니고 있기 때문에 항공기 엔진 압축기케이스등과 같은 항공기 부품재료로서 폭넓게 사용되어지고 있

다<sup>[1]</sup>. 그러나 이러한 인코넬의 기계적 특성은 피삭성의 저하를 초래하여 드릴링가공 시 발열에 의한 공구의 마모 및 파손에 따른 경제적 손실등의 많은 문제점을 야기 시키고 있다<sup>[2~4]</sup>. 따라서 현장에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 드릴링작업 시 다량의 절삭유를 공급하여 발열을 최소화하고 있으나, 절삭유의 비산과 누설에 의한 작업환경 악화, 환경오염 및 작업자의 인체손상 등의 또 다른 악영향에 직면하고 있는 것이 현실이다.

이러한 현실을 해결하기 위하여 최근 절삭유제를 극단적으로 감소시키면서 냉각과 윤활을 극대화시

# Corresponding Author : [ygiung@chanwon.ac.kr](mailto:ygiung@chanwon.ac.kr)  
Tel: +82-55-213-3602, Fax: +82-55-213-2859

키고자 하는 친환경 절삭유제공급방식인 MQL (Minimum Quantity Lubrication)이 주목을 받고 있고 실용화를 위한 노력이 다방면으로 이루어지고 추세에 있다<sup>[5~8]</sup>. 그러나 MQL방식은 오일미스트가 높은 압력의 공기와 함께 분사되면서 쉽게 대기 중으로 비산되기 때문에 효율적으로 절삭점에 절삭유제를 공급할 수 없다는 단점을 가지고 있어, 습식가공의 효과에는 미치지 못하는 한계를 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서, 기존의 드릴링가공에 보다 개선된 MQL방식을 적용하여 실용적이고 효과적이면서 친환경적으로 드릴링가공을 수행하는 것을 목표로 연구를 수행하였다. 이를 위하여, Inconel 601의 드릴링 시트러스트럼과 드릴선단마모의 관점에서 MQL의 효과를 증대시키기 위하여 밀폐커버, 스텝이송<sup>[9]</sup> 그리고 POSS Type Cutting-Oil을 제안하고 그 효율성을 확인하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

본 연구의 드릴링실험에 사용한 공작기계는 두산인프라코어(주)제의 VC630 5축 머시닝센터이며, 드릴링 시 축 방향의 트러스트힘을 측정하기 위해 스위스 키슬러사제의 압전소자형 공구동력계(7075B)를 이용하였다. 드릴선단의 마모를 관찰하기 위해 한국SOMETECH사의 공구 현미경을 사용하였으며, Fig. 1은 실험장치의 개략도를 보여주고 있고, Table 1에는 본 실험에서 적용한 실험조건을 나타내었다.

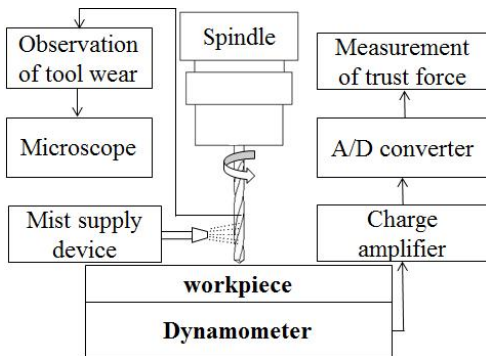


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Drilling condition

Items		Conditions
Spindle speed $V_s$ (rpm)		500
Feed $f$ (mm/rev)		0.05
Oil mist flow rate $Q$ (ml/h)		60, 120, 180, 240
Step feed (mm×times)		2×3
Sealed cover		0
Drill	Diameter $\Phi$	5
	Coating material	TiAlN

## 3. 밀폐커버와 스텝이송의 효과

본 연구에서는 MQL 공급방식의 문제점인 오일미스트의 공기 중의 비산을 막고 가능하면 많은 양의 오일미스트가 드릴링에 관여되어 질수 있도록 절삭점 부근을 차단하는 밀폐커버의 제작을 제안하였다. Fig.2의 밀폐커버의 구조에서 보는바와 같이, 밀폐커버는 주축과 공구홀더 주위를 밀폐하는 고정커버와 공구의 움직임에 따라 연동되는 슬라이딩커버로 구성되어 있고, 오일미스트 분사노즐은 슬라이딩커브에 설치된 흡을 따라 구동되는 방식을 갖추고 있어, 드릴링작업에 방해받지 않으면서 오일미스트의 공기 중의 비산을 최소화시키는 구조로 되어있다. 이러한 밀폐커버의 효과를 확인한 결과가 Fig. 3이다. Fig.3은 기존의 연구<sup>[10]</sup>에 의해 선정된  $V_s=500$ rpm,  $f=0.05$ mm/rev의 조건에서 밀폐커브의 부착유무와 오일미스트 공급 유량별 L의 증가에 따른  $F_t$ 의 거동을 비교한 그림이다. 밀폐커버의 적용은 절삭점에 많은 양의 오일미스트를 공급 할 수 있었기 때문에 밀폐커브를 적용하지 않았을 때와 비교하여 파손에 도달할 때까지의 가공길이가 현격하게 길어짐을 알 수 있었고, 그 효과는 오일미스트 공급유량이 증가함에 따라 증가함을 보여주고 있다.

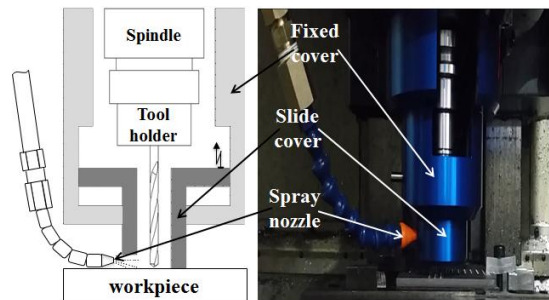


Fig. 2 Structure of sealed cover

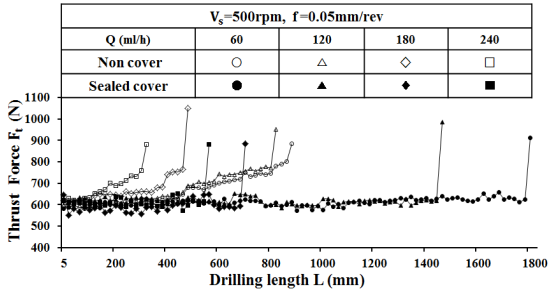


Fig. 3 Comparison of  $F_t$  according to increase of drilling length with and without sealed cover

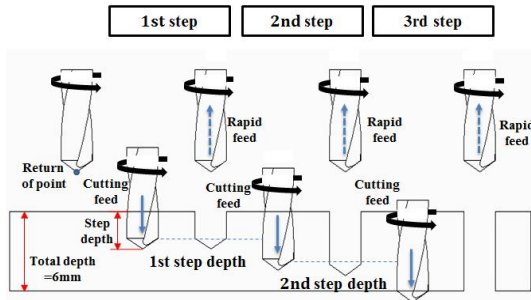


Fig. 4 Schematic diagram of step feed drilling

스텝이송은 깊은 구멍이나 미세구멍을 가공할 시 칩의 배출을 원활하게 함과 동시에 절삭제를 절삭점에 다량 공급할 수 있는 장점이 있어 냉각과 윤활작용을 극대화 시킬 수 있다. 따라서 지금까지의 실험 결과를 종합해 보면, MQL 방식의 절삭제공급 방식은 미스트상태이면서 적은 유량이 공급되기 때문에 밀폐커버를 사용한다 할지라도 미스트상태의 절삭제가 절삭점에 효과적으로 도달하기 곤란하다는 단점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 MQL의 효과를 증대시키기 위하여 스텝이송방식을 적용하여 그 효과를 확인하였다.

스텝이송은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이, 총 가공깊이를 6mm(Total depth)라 할 때 스텝깊이 2mm씩 3번(2×3)으로 나누어 가공하는 방식이다. 첫 번째와 두 번째 스텝사이에서 급속이송(Rapid feed)으로 드릴이 구멍에서 빠져나올 때 오일미스트가 절삭점에 공급될 수 있는 여유가 생기기 때문에 효과가 있을 것으로 기대된다. 스텝이송의 조건은 step depth와 step times를 조절함으로써 다양하게 구

Table 2 Step feed conditions

Total depth = 6mm			
Step depth (mm)	1	2	3
Step times	6	3	2

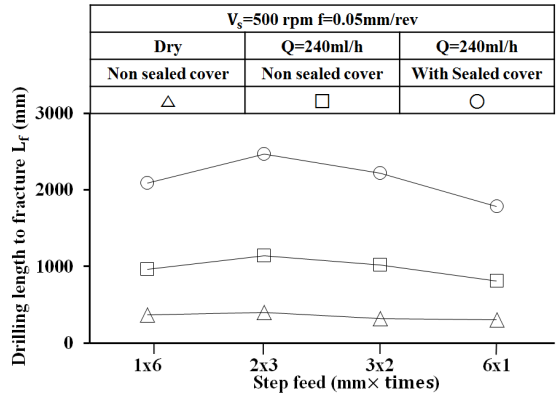


Fig. 5 Comparison of drilling length to fracture according to change of step feed conditions

분할 수 있으나 본 연구에서는 실험의 간편성을 고려하여 Table 2에서 보는 바와 같이 설정하여 실험을 수행하였다.

Fig. 5는  $V_s=500\text{rpm}, f=0.05\text{mm/rev}$ 의 조건에서 총 구멍깊이가 6mm인 인코넬판재에 대하여 스텝이송 조건을 Table 2와 같이 설정하여 드릴링을 수행하였을 때, 공구의 수명  $L_f$ 의 변화를 보여주는 그림이다. 그림에는 건식에서 밀폐커버를 사용하지 않았을 때와, MQL적용 시 밀폐커버의 장착유무에 대한 비교를 동시에 나타내고 있다. 건식으로 스텝이송을 적용하였을 때는 스텝이송의 효과는 거의 확인할 수 없었고, 반면, MQL을 적용시키면 밀폐커버의 유효성과 함께 2×3의 스텝이송조건에서 스텝이송의 효과가 최대가 됨을 알 수 있다. 공구수명을 최대로 하는 스텝이송조건이 존재하는 이유는, 스텝깊이가 작고 스텝횟수가 많으면 공구인선과 가공경화된 공작물과의 충돌 횟수가 많아 공구인선에 걸리는 부하가 증대할 것으로 예상되며, 반대로 스텝깊이를 크게 하면 칩 배출과 절삭제의 작용이 원활히 이루어지지 않음으로 인해 공구의 손상 확률이 많음에 기인할 것으로 추정된다.

## 5. POSS Type Cutting-Oil의 점착성 실험

유-무기 복합재료인 폴리실세스퀴옥산(polysilsesquioxane)은 내열성이 우수하고 산화 반응에 안정하며 생분해성을 가진다. 또한 cage 구조의 polysilsesquioxane을 POSS(Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane)<sup>[11-12]</sup>라 하며, 시중에 판매하는 CLS에서 가수분해 및 축합에 의해 POSS를 얻을 수 있다. 첨가제의 역할로서 블렌드함으로써 여러 가지 다른 물성을 가진 유-무기 하이브리드 소재의 개발이 가능하여 화학적 반응에 의해 쉽게 기능성기를 도입할 수 있기 때문에 분자량을 일정하게 조절 가능하다. 따라서 이러한 특징을 가지는 POSS를 기존의 MQL Cutting-Oil에 도입함으로써 MQL에서 분사되는 Oil-mist의 분자량을 크게하고 점착성을 증가시켜 MQL 드릴링 가공 시 Oil-mist가 대기 중으로 비산되는 단점을 극복할 수 있다. Fig. 6은 POSS의 합성을 위한 모식도이며 Fig. 7은 organic moiety=R에 식물성 Cutting-Oil을 esters화하여 합성한 모식도이다.

본 연구에서는 기존의 MQL전용 Cutting-Oil에

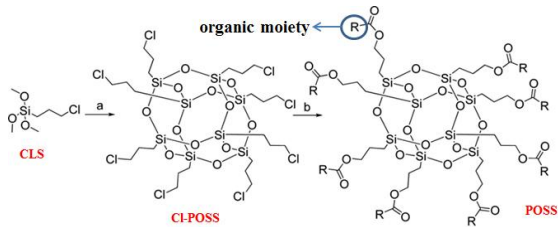


Fig. 6 Synthesis of POSS

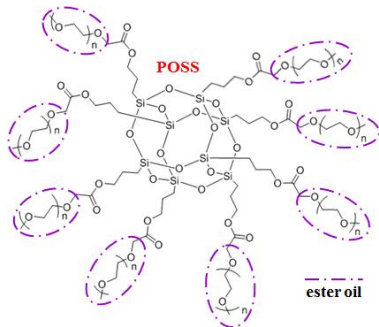


Fig. 7 Structure of POSS type Cutting-Oil

첨가하는 POSS의 함량 P를 0.1%, 0.4%, 0.8%, 1.6%으로 하여 POSS type Cutting-Oil을 합성하였다. 합성한 oil의 점착성 실험을 위해 고안한 케이스의 내부에 드릴링 가공 실험을 위한 드릴공구를 고정시키고 mist 공급 장치로 POSS type Cutting-Oil을 5분간 분사한 후 드릴에 부착되는 Oil의 무게를 전자저울을 이용하여 측정하였으며, Fig. 8은 점착성 실험장치의 계략도이다. 실험결과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 mist의 공급시간 T에 따른 점착량  $W_a$ 가 기존의 MQL전용 Cutting-Oil비해 POSS type Cutting-Oil이 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 10은 POSS의 함량 P의 증가에 따른 POSS type Cutting-Oil의 점착량  $W_a$ 의 변화를 보여주는 그림이며, P=0.4%, 0.8%일 때 Q의 증가에 따라  $W_a$ 가 안정적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 POSS type Cutting-Oil의 분자량이 커져서 대기 중으로 비산되는 양이 줄었으며, 또한 POSS의 구조 속에 있는 Si이 물체의 표면에 얇고 넓게 퍼지려고 하는 성질이 있어 점착성이 커졌을 것으로 추정된다.

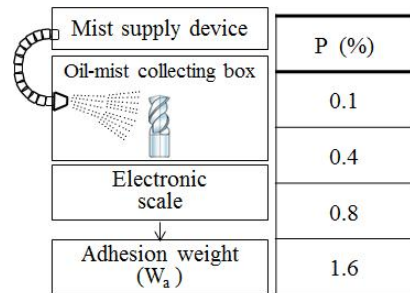


Fig. 8 Experimental setup of adhesive test

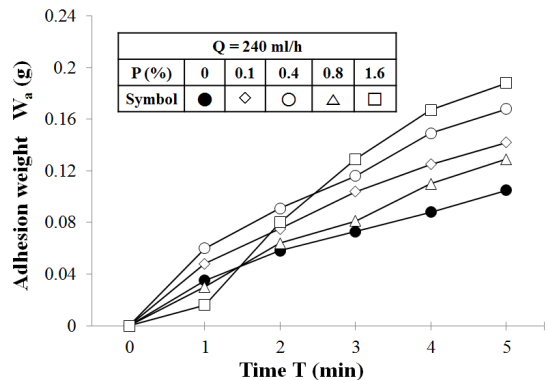


Fig. 9 Behavior of  $W_a$  according to T

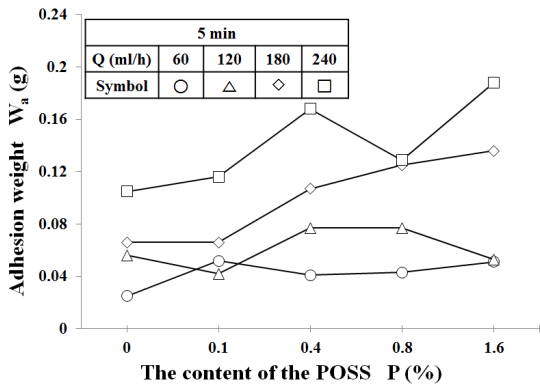


Fig. 10 Behavior of  $W_a$  according to an increase of P under various Q

$V_s=500\text{rpm}$ , $f=0.05$ , $\text{step feed}=2\times 3$ , $Q=240\text{ml/h}$			
P (%)	0	0.4	0.8
Drilling Length (mm)	1338	1338	1080
Tool wear			Fracture

Fig. 11 Observation of drill edge according to P

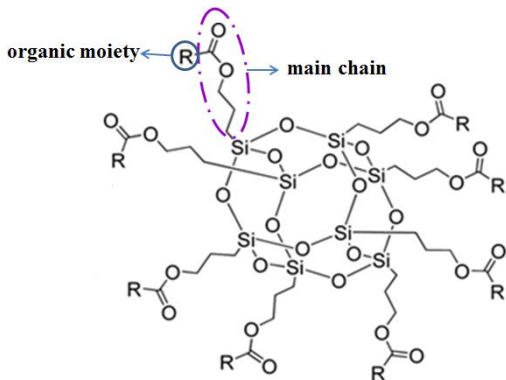


Fig. 12 Structure of POSS

## 6. POSS Type Cutting-Oil의 효과

본 연구에서는 POSS type Cutting-Oil의 점착성 실험을 수행하여 점착성이 가장 좋은 POSS의 함량 P=0.4%, 0.8%을 대상으로 드릴링가공을 수행하였

다. Fig. 11은 밀폐커버를 적용하고  $V_s=500\text{rpm}$ ,  $f=0.05\text{mm/rev}$ , 스텝이송  $2\times 3$ 의 조건으로 드릴링 가공을 하였을 때 드릴파손직전까지의 가공길이(공구수명)로 드릴링 한 드릴의 인선선단을 공구현미경으로 관찰한 사진이다. 사진에서 보는바와 같이, 기존 MQL전용 Cutting-Oil에 비해 POSS의 함량 P가 증가할수록 드릴선단마모가 현저히 증가되었음을 확인하였다. 공구수명이 기대와 달리 감소하는 이유는, Fig. 12에서 보는 바와 같이 POSS에 기능성기(R)가 도입되는 주사슬(main chain)의 길이가 길어서 Cutting-Oil을 고체화시키기 때문에 드릴링 가공 시 윤활작용을 방해하는 것으로 유추되어진다. 따라서 POSS를 Cutting-Oil에 적용하기 위해서는 Cutting-Oil의 고체화를 줄이기 위해 주사슬의 길이를 줄이는 연구가 필요하다.

## 7. 결론

본 연구에서는 난삭제인 인코넬 601을 대상으로 MQL방식을 적용하여 실용적이고 효과적이면서 친환경적으로 드릴링가공을 수행하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해, 밀폐커버와 스텝이송 그리고 POSS Type Cutting-Oil을 제안하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. MQL효과를 개선하기 위하여 밀폐커버를 제안, 제작하여 성능을 평가한 결과, 밀폐커브의 적용이 MQL의 효과를 개선시킬 수 있음이 입증되었다.
2. 스텝이송의 효과를 최대로 하는 스텝이송조건이 존재함을 확인할 수 있었다.
3. 기존 MQL Cutting-Oil에 POSS를 적용함으로써 점착성이 증가하는 것을 확인하였으나, 드릴링 가공 시 드릴공구의 수명이 감소되었다.
4. POSS를 Cutting-Oil에 적용하기 위해서는 Cutting-Oil의 고체화를 줄이기 위해 주사슬의 길이를 줄이는 연구가 필요하다.

## 후기

“이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.”

## REFERENCES

1. Choudhury, I. A., and El-Baradie, M. A., "Machinability of Nickel-base Super Alloys: a General Review," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 77, No. 1-3 pp. 278-284, 1998.
2. Won, J. S., Lim, E. S. and Jung, Y. G., "Estimation of Machinability for Super Heat-resistant Alloys Inconel 600 in Turning Process," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 10, No. 6, pp. 1-8, 2011.
3. Sharman, T. A., Dewes R. C., and Aspinwall, D. K., "Tool Life when High Speed Ball Nose End Milling Inconel 718," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 118, No. 1-3, pp. 29-35, 2001.
4. Liu, C., Ren, C., Wang, G., Yang, Y. and Zhang, L., "Optimal Cutting Conditions of Surface Roughness for Inconel 718 Alloy in Turning Operation," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 8, No. 4, pp. 48-53, 2009.
5. Toshiyuki Obikawa, Yasuhiro Kamata, Yuki Asano, Kousuke Nakayama, Andrew W. Otieno, "Micro-liter lubrication machining of Inconel 718," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48, No. 15, pp. 1605-1612, 2008.
6. Dhar, N. R., Islam, M. W., Islam, S. and Mithu, M. A. H., "The influence of minimum quantity of lubrication on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, No. 1, pp. 93-99, 2006.
7. Shin, S. W., Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "Correlation analysis between cutting conditions and cylindricity in MQL turning," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 8, No. 3, pp. 74-81, 2009.
8. Lee, I. S. and Kim, H. J., "A Study on the Optimum Shape of MQL Carbide End-mill for Machining of Aluminum Lithium Alloy," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 6, pp. 159-166, 2013.
9. Bağcı, E. and Ozcelik, B., "Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling," *Materials and Design*, Vol. 27, No. 27, pp. 446-454, 2004.
10. Song, D. H., Park, H. C., Park, K. B., Cho, Y. T. and Jung, Y. G., "Drilling Characteristics of Inconel 600 with Applying MQL," *Proceedings of the KSMPE Conference*, Vol. 2014, No. 11, pp. 45-45, 2014.
11. Phillips, S. H., Haddad, T. S. and Tomczak, S. J., "Developments in nanoscience: polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS)-polymers," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol. 8, No. 1, pp. 21-29, 2004.
12. Choi, K. M., Harshavardhan, S. J., Sridhar, C., Vijaykumar, B. V. D., Kumar, D., Jang, K. W., Lee, M. S and Shin, D. S., "Synthesis of POSS Derived Organic-Inorganic Hybrid Esters for Insulating Oil Applications," *Bull. Korean Chem. Soc*, Vol. 35, No. 9, pp. 2769-2773, 2014.