

切削加工에 사용되는 切削油의 濃度最適化에 關한 研究 A Study on Optimization of The Concentration of Cutting Oil to be used for Cutting

김규태¹, 김원일^{2*}
Gue-Tae Kim¹, Won-Il Kim^{2*}

<Abstract>

It is indispensable to modern society metal processing since the industrialized rapidly, but it is a metalworking cutting fluid immediately. In addition, this means selecting a emulsion on the basis of quality criteria processing method, the material of the material, cutting depth, cutting speed, Djourou fence Liang, and surface roughness, cutting oil, the shape of the device based on the emulsion, I will be the structure of the tank, filtration equipment also changes.

In particular, acting bacteria is now breeding in response to the passage of time due to metal ion degradation due to heat generated hydraulic fluid leakage, humidity tung, during processing, seep from processing material at the time of processing the water-soluble cutting oil for generating the malodor by dropping significantly the performance of the cutting oil to corruption from, sometimes by introducing various additives to suppress spoilage in advance.

In this study, we expect the effect of the cost reduction in the extension of fluid replacement cycle through the application of the management apparatus and deep understanding in the management of cutting fluid, the working environment through the understanding and interest of workers in the production site more than anything I try to become useful for the improvement

Keywords : Cutting Fluid, Concentration, Suitability, Venturi effect

1. 서 론

절삭가공에 있어서 절삭유제의 선정은 일반적으로 절삭속도가 빨라질수록 절삭유제의 효과는 계속 감소한다. 피삭재의 절삭성, 가공의 종류 및 가혹한 정도, 공구 재질 및 형상, 비용 등을 고려하여 절삭유를 선정하고 실지 시험

적용을 통해 적합성을 확인해야 된다. 절삭유제는 공구 수명, 공작물 표면 거칠기 등에 많은 영향을 미치므로 신중하게 검토할 필요가 있다.¹⁾

절삭유제를 구성하는 개개의 구성 성분은 유해하지 않더라도 혼합물은 유해할 수 있으며, 박테리아나 곰팡이에 의한 부패로 유독성 물질이 생길 수도 있다. 가능한 한 절삭유제에의 직

¹정회원, 경남대 기계공학부 대학원, 碩士

^{2*}정회원, 교신저자, 경남대학교 기계공학부 교수, 工博
E-mail : kimwonil@kyungnam.ac.kr

¹Post doctoral fellow, Mechanical Engineering, Graduate School, Kyung Nam Univ..

^{2*}Corresponding Author, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Kyung Nam Univ. Ph.D.

접적인 노출은 피하는게 좋지만, 기계 구조상 문제 등으로 불가피한 경우도 있을 수 있으므로 절삭유제 선정 시 유의할 필요가 있다.²⁾

피삭성의 개선(절삭저항감소, 마무리면 정도 향상, 공구수명의 연장 등) 작업성의 개선(가공물의 냉각, 잘라낸 부스러기 제거, 가공물의 단기방청 등) 절삭유제를 대별하면 광유를 기유로 한 비수용성유제와 물로 희석하여 사용하는 수용성유제를 대별된다. 전자는 오일의 윤활성에 따라 피삭성을 개선할 목적으로 사용되며 후자는 물의 냉각성에 의한 작업성의 개선을 목적으로 하여 사용되고 있다.³⁾

수용성 절삭유제의 열화에 의한 영향으로는 가공성과 방청성능 저하, 악취발생, 사용유의 오염 등이 있고 그 원인은 미생물의 서식, 칩의 혼입, 타유의 혼입에 의한 것이 대부분이다.

수용성 절삭유제의 관리에는 농도관리, 방부관리, 청정화 관리가 기본이다. 특히 농도관리는 일반적 주철이나 강은 5%, 알루미늄은 6-8%, 중절삭은 10-15%로 관리를 하는데 농도가 높으면 소포성이 떨어지고 피부나 호흡기에 민감하게 반응하며 낮으면 발청이나 부패에 영향을 주게 된다.⁴⁾

일정한 농도관리를 위해서는 전임 관리자를 관리자를 지정하거나 미리 Mixing 장치를 이용하여 필요로 하는 농도를 희석하여 자동으로 공급하면 일정한 농도와 Tank 수위를 관리 할 수 있다.⁵⁾

무엇보다도 Tank의 구조 설계가 매우 중요하므로 상기의 조건들이 반영된 설비를 만들면 제품의 품질 향상과 유류비 절감으로 이어지며 특히 작업환경 개선을 통해 쾌적한 작업장에서 작업하므로 작업자의 업무 능력향상으로 이어질 때 더욱 경쟁력 있는 회사로 거듭 태어날 것으로 사료되므로 생산현장에 활용 할 수 있는 방안을 토출하고자 한다.

2. 관련이론

2.1 절삭유제의 KS 규격

절삭유제의 종류는 비수용성 절삭유제와 수용성 절삭유제로 분류한다. 모두 염소계 극압첨가제중 SCCP(C10-C13)를 가하지 않으며, 비

수용성 절삭유제는 극압첨가제 유무에 의해 W1종은 광유 또는 지방유로 구성되어 있고, 극압첨가제를 포함하지 않는 것이고, W2종은 1종의 조성이 주성분이며 극압첨가제를 포함 및 동판 부식이 150℃에서 2미만의 것이다. 또한 W3종은 1종의 조성이 주성분이며 극압첨가제를 포함 및 황계 극압첨가제가 필수이며 동판 부식이 100℃에서 2이하, 150℃에서 2이상의 것이고, W4종은 1종의 조성이 주성분으로 극압첨가제를 포함하며 황계 극압첨가제가 필수이며 동판부식이 100℃에서 3이상의 것이다.⁶⁾

수용성 절삭유제의 타입별 특징은 아래와 같은 3 형태가 있으며, 이의 가장 간단한 구분은 물에 희석하였을 시 그 외관을 보고 구분할 수 있다.

타입	에멀전	솔루블	케미칼
	에멀전	Semi-synthetic	Synthetic
투과도 Brix농도			
목시	물투명	반투명(또는 투명)	투명

Fig. 1. Water solubility by types feature.

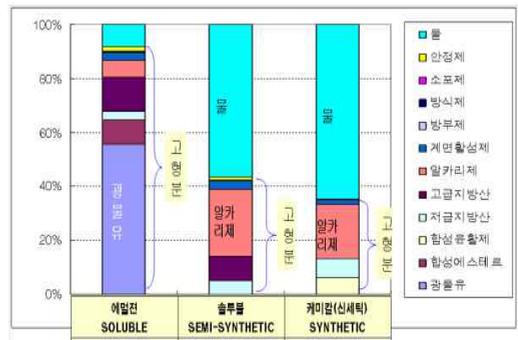


Fig. 2 The characteristic differenc by types conten.

수용성 절삭유제는 희석액의 외관, 표면장력, 휘발분에 따라 W1종-W3종으로 구분하고, pH, 금속부식에 따라 1-2호로 세분화 한다.

W1종은 광유나 지방유 등 물에 녹지 않는 성분과 계면활성제로 구성되어 있고 물을 가해 희석하면 외관이 유백색이 되는 것, W2종은 계면활성제 등 물에 녹는 성분 단독 또는 물에 녹는 성분과 광유나 지방유 등의 물에 녹지 않는 성분으로 구성되어 있고 물을 가해 희석하면 외관이 반투명내지 투명하게 되는 것.W3종은 물에 녹는 성분으로 구성되어 있고 물을 가해 희석하면 외관이 투명하게 되는 것이다.

Table 1. Quality of the non water solubility cutting fluid and his majesty

Item	Kinematic viscosity mm ² /s (40 °C)	Fat and oil (%)	Former sulphur (%)	Copper strip corrsin (1hr)		Flash point (°C)	Pour point (°C)	Internal Load performance Mpa
				100 °C	150 °C			
1종	1호	10 ↓	- (1)	1	1 ↓	70 ↑	-	0.10 ↑
	2호	10 ↑						
	3호	10 ↓						
	4호	10 ↑						
2종	1호	10 ↓	5 ↓	-	2 ↓	70 ↑	-	0.15 ↑
	2호	10 ↑						
	3호	10 ↓						
	4호	10 ↑						
3종	1호	10 ↓	1 ↓ (2)	2 ↓	2 ↑	70 ↑	-5 ↓	0.25 ↑
	2호	10 ↑						
	3호	10 ↓						
	4호	10 ↑						
	5호	10 ↓	1 ↑	-	70 ↑	-	0.15 ↑	
	6호	10 ↑						
	7호	10 ↓						
	8호	10 ↑						
4종	1호	10 ↓	1 ↓ (2)	3 ↑	-	70 ↑	-	0.25 ↑
	2호	10 ↑						
	3호	10 ↓						
	4호	10 ↑						
	5호	10 ↓	1 ↑	-	70 ↑	-	0.15 ↑	
	6호	10 ↑						
	7호	10 ↓						
	8호	10 ↑						

Table 2. Quality of the water solubility cutting fluid and hismajesty

Item	Exterior	Surface tension 10 ⁻³ N/m	Emulsion stability(ml(24h)			Water and volatile matter (%)	PH	Form sulphur %	Foam test mL (24 ±2 °C)	Metal corrosion (48h)
			-							
			Class	Cream Line	Class					
W1종	1호	Milky	Trail	2.5 ↓	2.5 ↓	2.5 ↓	80 ↑	8.5 ↑ 10.5 ↓ 8.0 ↓ 10.5 ↓	No discolorstion (steel)	
	2호									No discolorstion (Al & Cu)
W2종	1호	Translucent	40 ↓					8.5 ↑ 10.5 ↓ 8.0 ↓ 10.5 ↓	No discolorstion (Steel)	
	2호									No discolorstion (Al & Cu)
W3종	1호	Transparent	40 ↑					8.5 ↑ 10.5 ↓ 8.0 ↓ 10.5 ↓	No discolorstion (Steel)	
	2호									No discolorstion (Al & Cu)

벤츄리 관의 넓은 통로와 좁은 통로의 아래 부분에 가는 유리관을 연결하고 이를 관찰하면 배관이 쪽의 물기둥은 그 높이가 낮아지고, 좁은 쪽의 물기둥은 높이가 높아진다. 이것은 배관내의 넓은 통로에서는 압력과 좁아진 통로에서 압력과의 압력차이로 인해 유체가 좁은 통로 쪽으로 빨리 올라가서 생기는 현상으로 이를 벤츄리관 효과라 하고 이를 수리학적으로 베르누이 정리라고 한다.⁷⁾

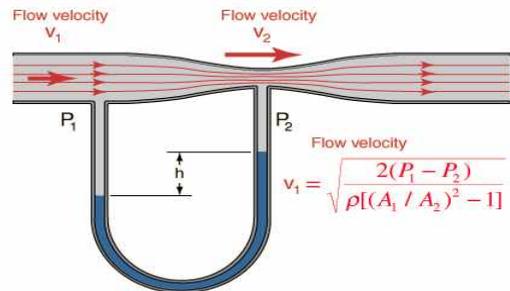


Fig. 3. The principle of venturi effect

베르누이 방정식에서 유관이 수평일 때는 $h_1 = h_2$ 이므로 $P_1 + \frac{1}{2}pv_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}pv_2^2$ 에서 $v_1 < v_2$ 이므로 $P_1 > P_2$ 가 되어 유속이 빠른 좁은 관 쪽이 압력이 낮아 수면의 높이가 높아진다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

실험에 사용된 장치 Fig. 4. 은 자체 개발한 제품으로서 2 bar 이상의 일정한 수압이 장치를 통과할 때 좁은 관에서 넓은 관을 지날 경우 생기는 진공압력에 의해 절삭유 원액이 빨려 올라와 용수와 희석되는 것이며, 관리하는 농도로 맞추어 희석하므로써 일정한 농도가 절삭유 탱크에 공급되는 것이다.



Fig. 4. The automatic dilution device of coolant.

원액과 용수가 일정한 농도로 희석된 절삭유가 희석 Tank에 보관이 되고, 각 설비에 연결된 배관으로 Pump(PW-350SMA)가 공급을 하며 절삭유 사용이 없어 배관에 수압이 차게 되면 Pump는 자동으로 정지한다.

그리고 원액 Tank에 절삭유 원액이 부족하거나 희석 Tank에 희석액 가득차게 되면 Limite S/W가 감지하여 용수공급배관은 Sol Valve에 의해 용수를 차단하게 됩니다.



Fig. 5. The device of oil auto supply.

Table. 3. The tank capacity

Item	Capacity
Smoothy tank	240 ℓ
Diluent	360 ℓ



Fig. 6. Supply pump specification.

Table. 4. Pump spec specification

Item	Specification
Manufacturer	Willow
Type	PW-350SMA
Power	AC 220V
Max. Lift	24(m)
Max. Supply	2,100(ℓ /hr)



Fig. 7. Virtual installation.

3.2 실험재료 및 측정방법

실험에 사용된 절삭유제는 범우화학에서 생산되는 EC50SS Emulsion Type 의 수용성 절삭유를 사용하는 설비에 적용하여 농도추이 및 원액보충량 및 교환량을 측정한다. 상세한 규격은 Table 5.에 나타내었다.

Table 5. Coolant spec specification

Item	Specification
Spec	EC50SS
Recommendation concentration	10%
Soluble solid content	85%
Coolant tank size	4,000 ℓ
Exchange cycle	6 months

수용성 절삭유 농도측정에 사용되는 농도계는 일반적으로 당도계라고도 하며 같이 사용되는 제품이며, “0” Setting 은 일반 물을 측정부위에 한방울 떨어뜨려서 앞부분에 있는 조정레버를 돌려서 원점조정을 하고 화면의 농도측정 눈금이 잘 보이도록 해상도를 조정하여 측정을 한다.

측정주기는 1회/주 농도를 측정하여 기록 Sheet 기록한다.⁸⁾



Fig. 8. Densitometer.

Table 6. Oil Concentration Method Of measurement

Modle	ATC-20T
측정범위(%)	Brix 0.0-20.0
최소농도(%)	Brix 0.1
측정정도(%)	Brix ±0.2
크기.무게	40*40*200mm / 200g

실험에 사용된 장치는 본인이 연구개발한 제품으로서 베르누이 정리를 이용한 벤츄리 효과를 적용한 자동희석장치는 Fig. 9. 에 나타내었으며, 장치의 사용조건은 Table 7. 에 나타내었다.



Fig. 9. Coolant automatic dilution device.

Table 7. Coolant tank status

Item	Specification
Water pressure	3 Bar
Concentration	6%(Brix standard)
Tank cspacity	4,000 ℓ

설비는 쌍용자동차(주) 창원공장 1공장 Crank shaft Line 에 설치되어 있는 Crankshaft 의 Pulley 부 및 Flange 부 의 선삭, Drilling, Boring, Tapping 등의 절삭 가공 공정이다

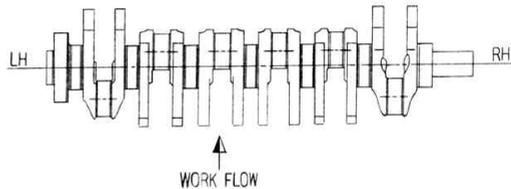


Fig. 10. G36D Crankshaft material.



Fig. 11. Test machine.

Table 8. Machine and process status

Item	Specification
Operation	Drilling, Milling, Turning, Reaming, Tapping, Chamfering
Machine maker	HONSBERG(Germany)
Production Model	G23D, G28D, G32D, G36D, G20DF Crankshaft
Material	38MnS6
hARDNESS	HRC 56±3
Cycle time	59 sec

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 절삭유 농도변화가 사용량에 미치는 영향

실험은 용수 보충 시 수용성 절삭유를 희석하여 동시에 보충함으로써 농도의 변화 추이전, 후 비교분석을 통하여 농도를 최적화하여 사용함으로써 유류의 사용량을 최소화하였다.

절삭공구 및 제품 품질에 미치는 영향성은 관리농도를 10%이상으로 관리되고 있으므로 영향성분석은 어려우며, 적정농도로 관리되므로 수용성 절삭유의 점성에 의한 설비 및 제품의 오염이 감소되어 청정도가 향상되었다.

액 교환 주기는 4개월로 4회/yr 주기에서 6개월로 2회/yr으로 연장되어 보충량 240 l/yr 절감과 2회/yr의 액 교환량 400 l 절감되었으며 총 640 l/yr 사용량 절감의 효과가 나타났다.

또한 액 교환주기가 연장되므로 교환 시 발생하는 M/H와 설비 가동시간도 감소되나 본 실험의 설비에서는 제외하며 설비가 다량으로 운영 시에는 효과분석이 필요하다.

향후 희석액의 관리농도는 설비 탱크의 관리농도와는 다르게 운영하여야 하며, 설비조건에 따른 희석액의 농도를 조정하여 맞추어 관리토록 하여야 한다.

4.2 희석장치 설치전 · 후 농도 변화 추이

절삭유가 부족 시 용수만 계속보충을 하였고 1회/wk 유류관리자가 농도를 측정하여 1주일간 떨어질 농도를 감안하여 평균 3%이상으로 원액을 보충을 하는 일반적인 방법이다.

Fig. 12.에서 보는 바와 같이 관리농도는 10%인데 실농도는 평균 13%로 과도한 농도로

사용함으로써 설비오염, 설비고장 등을 유발하며 과도한 유류비가 지출된다.

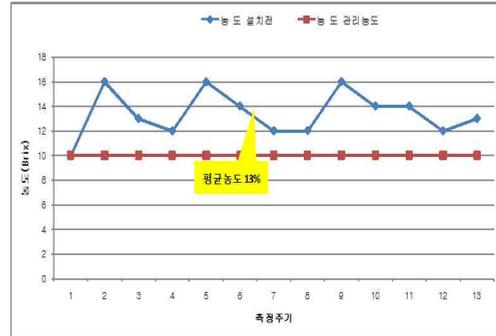


Fig. 12. Oil concentration before installing.

Table 9. Data of oil concentration before installing

농도	설치전	10	16	13	12	16	14	12	12	16	14	14	12	13
	관리농도	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

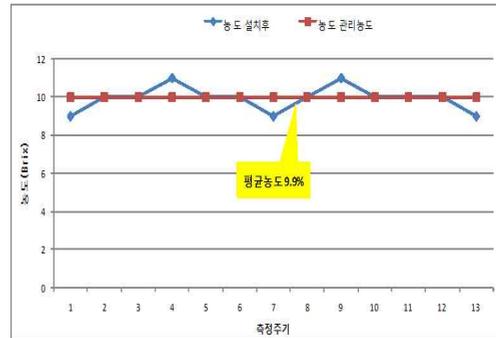


Fig. 13. Oil concentration after installing.

Table 10. Data of oil concentration after installing

농도	설치전	9	10	10	11	10	10	9	10	11	10	10	10	9
	관리농도	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Fig. 14. 에서 보는 바와 같이 절삭유 자동 희석장치를 이용전,후의 농도변화를 비교한 결과 관리농도보다 3 % 이상으로 관리되어 유류 사용량이 과도하게 소모된 것으로 나타났다.

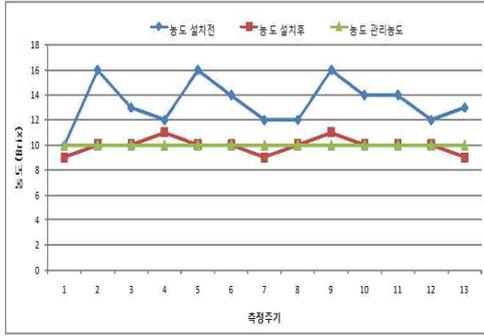


Fig. 14. Comparison of oil concentration before & after installing.

Table 11. Data of Comparison of oil concentration before & after installing

농도	설치전	10	16	13	12	16	14	12	12	16	14	14	12	13
	설치후	9	10	10	11	10	10	9	10	11	10	10	10	9
	관리농도	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Table 12. Economic assessment

Item	Pre-installation	After installation	Difference	Space
Tank Capacity	4,000 ℓ			
Management concentration	10%			
Actual concentration	13%	10%	3%	
Costs	₩4,162 / ℓ			
Exchange cycle	4 M	6 M	2 M	
Supplementary volume	60 ℓ/M	40 ℓ/M	20 ℓ/M	240 ℓ /Y
Supplementary costs	₩2,996,640	₩1,997,760	₩998,880	
Exchange volume	400 ℓ			
Exchange costs	₩4,994,400	₩3,329,600	₩1,664,800	3 Times → 2 times
Wastewater treatment costs	₩2,340,000	₩156,000	₩2,184,000	18t → 12t
Exchange M/H	₩720,000	₩480,000	₩240,000	2 M/H
Annual savings amount			₩5,087,680	

Table. 4-1 에 보는바와 같이 절삭유 회석장치에 설치전,후의 절삭유 보충량은 월 평균 20 ℓ의 절감과 액 교환주기 연장에 따른 교환량은 240 ℓ의 절감에 대한 경제성 평가한 결과이다.

회석장치의 설치전후에 절삭유 농도변화에 관한 실험적 연구를 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

Fig. 12. 에서 보는 바와 같이 절삭유가 소모되어 보충시 용수만 보충할 경우 급속한 농도 저하로 인해 절삭유의 부패, 소재발청, 품질저하, 유류비 과다소요 등의 문제점이 예상된다.

Fig. 13. 에서는 절삭유 회석장치를 설치하였을 경우에는 농도의 변화 폭이 적은 것으로 나타나 절삭유의 농도변화로 인한 문제점은 사전 예방이 가능하다.

절삭유의 농도관리는 공구수명, 표면조도, 액 교환주기, 유류비, 작업환경과 설비의 내구년수 까지도 영향을 미치는 요인으로서 중요한 관리 Point 이다.

Fig. 14. 의 Test 결과에서 보듯이 회석장치 미장착시 용수 보충 시는 농도가 급속하게 떨어지고 원액 보충시는 농도가 급상승하는 현상을 보여준다. 절삭유 보충에 있어서도 용수와 원액을 별도로 보충 시 농도의 편차가 심하여 윤활성 저하로 인해 공구파손과 발청의 원인과 더불어 유류비가 과다하게 지출되는 경제적 손실을 가져오게 된다. 용수 보충시마다 원액을 보충함으로써 신유보충에 의한 내부패성 증대와 더불어 세정성향상 등에 의한 액 교환주기 연장으로 유류비를 절감하여 원가절감으로 회사의 경쟁력이 확보된다.

특히 중소기업의 경우 자동공급 장치를 적용하여 작업자의 M/H 절감하는 효과가 발생되어 생산성이 향상되며, 액 교환주기 연장으로 폐유 발생을 억제하고 폐수처리 비용도 줄이는 경제적 이익이 발생된다.

5. 결론

본 연구는 절삭유의 농도관리를 최적화하기 위해 자동회석장치 및 자동공급장치를 사용함으로써 농도의 변화추이를 측정된 결과를 전,후 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 용수와 절삭유 원액을 별도로 공급하여 사용하는 것은 사용농도가 관리농도 10 % 로 보다

- 높은 평균 13 % 로 관리되고 있어 수용성 절삭유 원액이 과도하게 많이 보충되는 것으로 나타났다.
- 2) 절삭유 자동희석장치를 이용하여 절삭유 농도관리를 최적화함으로써 설치전 농도 13%에서 설치후 농도는 평균 9.9 % 로 일정하게 관리할 수 있어 약 3.1 % 의 농도 차이를 나타내었다.
 - 3) 절삭유 자동희석장치 설치전의 농도편차는 최대 6 % 이며, 설치후의 농도편차는 최대 2% 로 설치후의 농도가 일정하게 관리되고 있어 조기부패나 액 수명에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
 - 4) 경제적인 측면에서는 원액 보충량이 60 ℓ/M서 40 ℓ/M 로 감소되어 240 ℓ /yr 의 절감효과와 교환량은 액 교환주기가 4개월에서 6개월로 연장됨으로서 4회/년 에서 2회/yr 감소되었으며, 액 교환량은 1,600 ℓ 에서 800 ℓ 로 감소되었다. 보충비용 및 교환비용이 년간 상당히 원가절감이 되는 것으로 나타났다.
- 2) 천명철, 김희옥, 김순덕, 오철환, 염용태 “절삭유 취급 근로자의 피부질환에 관한 연구” Journal of Preventive Medicine and Public Health, pp.792, (1996)
 - 3) 황준, 정의식 “환경친화적 기계가공을 위한 절삭유 최적화에 관한 연구” 한국정밀공학회 학술대회 논문집, pp.950, (2000)
 - 4) 박성호, 김지훈, 고태조, 김희술 “선삭에서 가공 조건에 따른 절삭유 입자 발생특성”, 대한기계학회 춘추학술대회, pp.29-30, (2001)
 - 5) 강재훈, 송준엽, 최종호 “절삭유 공급 방식의 최적화를 위한 실험적 연구 ” 한국정밀공학회 학술대회 논문집, No.10월, pp.3, (2004)
 - 6) 한국산업안전관리공단 “절삭유(metal working fluids, MWF)의 MSDS 신뢰성조사 연구”, 산업안전보건, pp. 22-25, (2004)
 - 7) 남중순, MD, 김희동 “베르누이 부상에 관한 기초적 연구 ” 한국전산유체공학회 학술대회 논문집 No.5, pp. 479-483, (2012)
 - 8) 김현주, 김성배 “수용성 절삭유에서 방청제가 방부제의 항균효능에 미치는 영향 ” KSBB Journal pp. 393-397 (2003)

참 고 문 헌

- 1) 권대규 “절삭유와 표면조도의 상관관계에 관한 연구” 경남대학교 기계공학과 석사학위 논문, pp.16, (2011)

(접수:2013.07.23, 수정:2013.08.11, 게재 확정:2012.08.23)