

생분해성 유압 작동유에 대한 일반적 고찰 Review on the Biodegradable Hydraulic Oils

김영준 · 조정희
Y. J. Kim and J. H. Cho

1. 서 언

굴삭기 등과 같은 중장비를 제조하는 국내 제조사에서는 유럽에서의 장비 생산 또는 수출 등으로 인해 오래전부터 생분해성 유압 작동유에 대해 관심을 가지기 시작했으며, 이에 발맞추어 국내외 윤활유 제조업체에서도 상당히 일찍부터 생분해성 유압 작동유를 소개해 왔다.

그러나 생분해성 유압유를 요구하는 해외 고객들을 위해 장비 제작시에는 광유계 오일을 충전하고 수출한 후 현지에서 현지의 실정에 맞는 생분해성 유압유로 교체해서 사용해 오고 있었으나 일부 장비 제조사이긴 하지만 최근에는 고객의 요청에 따라 생분해성 유압유를 초기 충전시부터 사용하는 업체도 있으며 또한 윤활유 제조업체와의 협력을 통해 제품 개발을 시도하는 등 다양한 활동이 이루어지고 있다.

수출 장비를 제외하고 국내에서의 사용은 일부 관공서, 배수갑문 장치 등에 제한적으로 사용되고 있지만 유압작동유의 대부분은 여전히 비생분해성 타입이 주종을 이루고 있다. 비록 이전에 비해 사용되는 기유가 고점도지수(VHVI) 타입으로 많이 바뀌었고, 최근에는 고점도지수 기유가 합성유로 구분되면서 유압작동유의 품질이 많이 향상되었지만 생분해성 유압유로서 사용할 수는 없다.

일반적으로 생분해성 유압 작동유라고 하면 유압 작동유가 일정 조건하에서 미생물에 의해 분해되어 일부는 미생물에 의해 흡수되고 나머지는 배출되면서 물이나 이산화탄소 등으로 변화하는 특성을 가진 유압 작동유를 의미한다.

그러나 기본적인 생분해성의 특성을 가지고 있으면서 비생분해성 유압유가 가지고 있는 기본적인 역할인 동력전달 특성, 윤활 특성, 각종 재질과의 적합성 등을 무시해서는 곤란하며 오히려 생분해성 오일의 특성에 따라 더욱 보강 되어야 한다. 생분해 특성이 있는 원료를 사용하여 생분해성 유압유는 쉽게 만들 수 있지만 사용자의 충분한 경험에 따른 기술

적 인정과 오일 가격이 기존 광유계보다 비교적 높은 편이므로 사용자에게 적절한 경제성을 제공해 줄 수 있는 제품을 선택하는 것이 중요하다(표 1).

표 1 환경친화적 생분해성 유압유의 요구 특성

항 목	주요 특성
1) 환경성	<ul style="list-style-type: none"> · 생분해성 · 무독성 · 폐기물 발생 감소 · 국제적 지명도(독일, 오스트리아, 네덜란드, 스웨덴, 미국, 일본 등)
2) 경험성	<ul style="list-style-type: none"> · 안정적 제품 · 축적된 기술 · 초도 충전용으로 사용여부 · 장비제작자의 사용 및 추천 · 장수명(Long Life)
3) 윤활성	<ul style="list-style-type: none"> · 산화 안정성, 내마모성, 저온특성 등
4) 경제성	<ul style="list-style-type: none"> · 오일교환 횟수 감소 · 장비 트러블 발생 감소

따라서 본 해설에서는 특정 제품에 대한 개발 및 시험 내용보다는 생분해성 유압유의 종류, 환경적 특성, 및 윤활유로서의 특성 등 일반적인 내용에 대해 개략적으로 정리하고자 한다.

2. 생분해성 유압유의 종류

생분해성 유압유에서 90% 이상이 기유이므로 기유의 생분해성이 생분해도를 좌우한다. 표 2에서 보면 식물성 오일, Ester 계통이 높은 생분해도를 가지고 있으며 에틸렌글리콜 같은 물질도 생분해도가 양호하다. 반면, 생산공정에 따라 차이가 있지만 광유계나 합성유 중에서 많이 사용하고 있는 PAO는 비교적 낮은 생분해도를 지니고 있다.

표 2 각종 윤활 기유의 생분해도

오일의 종류 및 구분			40℃ 동점도 (mm ² /s)	생분해도 (CEC-L-33-93)	
광유계 기유	파라핀계	수소화정제	A	16.3	73
			B	45.1	50
		용제정제	C	25.8	58
			D	555	47
	나프텐계			8.78	0
합성기유	에스테르	TMPT(Trimethylolpropane triheptanate)		14.0	100
		PETE(pentaerythritol tetraester)		33.5	99
		DIOA(diisocetyl azelate)		12.5	97
		DTDA(ditridecyl adipate)		26.1	84
		DIDA(diisidecyl adipate)		14.1	90
		DTDP(ditridecyl phthalate)		81.6	18
	PAO		32.0	10	
	폴리 글리콜	폴리에틸렌 글리콜		-	>70
폴리프로필렌 글리콜		-	<15		
천연 유지유	식물성유	유채유		30~50	98
		대두유		30~50	97
		피마자유		30~50	94
		해바라기유		30~50	92

하지만 저점도 PAO 및 저점도 수소화 정제 광유는 상대적으로 생분해도가 양호하므로 생분해성 윤활유의 원료로 사용이 가능하다.

이런 이유로 과거에는 생분해성 유압유를 독일 기계설비제작자협회(VDMA) 24568에서의 분류대로 3가지로 생분해성 유압유를 구분하였으나 최근 저점도 PAO 및 저점도 수소분해 광유의 생분해성을 인정하여 ISO 15380에서 환경친화형 유압 작동유에 대해 표 3과 같이 4 종류로 구분하고 있다.

표 3 ISO 15380에 의한 분류

기 유	코드	주 성분
트리글리세리드	HETG	주로 식물성유
폴리글리콜	HEPG	폴리알킬렌 글리콜
합성 에스테르	HEES	합성 에스테르 올레인산 에스테르
탄화수소	HEPR	폴리알파올레핀 기타 탄화수소계

PAO 및 탄화수소계 생분해성 유압유의 경우 스웨덴에서는 2000년 이후 제외되었지만 독일의 블루

엔젤에서는 HEPR 계통의 생분해 유압유도 인정할 예정이다.

식물성 생분해성 유압유는 내마모성도 우수하고 높은 점도지수 등을 가지고 있지만 열 및 산화안정성이 좋지 않기 때문에 그 사용이 매우 제한적이다. 식물성 생분해 유압유의 사용으로 기기장비의 트러블이 많이 발생해서 과거 일부 사용자들에게는 생분해성 유압유의 물성이 광유계와 비교하여 아주 나쁜 것으로 인식되는 원인이 되기도 하였으나 최근에는 유전자 조작 등을 통해 만든 식물성 오일로 최대 단점인 산화안정성을 높인 제품을 개발하여 상업화되기도 한다.

폴리글리콜의 환경친화성에 대해서는 의견이 분분하다. 기술적인 측면에서 볼 때 대부분의 폴리글리콜이 물에 용해되므로 주요 단점으로 작용한다. 물과의 상용성으로 오일 속에 응축수가 부유하여 드레인 되지 않는다. 과다한 수분으로 인해 필터 막힘을 유발하고 캐비테이션을 일으키기도 한다. 또한 광유계와의 상용성이 없기 때문에 사용에 제한적이다.

합성 에스테르는 합성에 사용하는 알코올과 산의 화학적 구조 및 종류에 따라 매우 다양하게 만들 수 있으며 모든 합성 에스테르가 기술적으로 우수한 생

분해성 유압유가 되는 것은 아니다. 합성 에스테르 중 생분해성 유압유로 많이 사용되는 디카본산 에스테르와 올레인산 에스테르를 비교해보면 올레인산으로 만든 에스테르의 경우 산화가 빨리 진행되는 것을 알 수 있다(표 4).

따라서 사용온도에 따라 그 용도가 제한되는데 60℃ 이하의 사용온도가 낮은 농업용 장비의 경우 식물성 생분해성 유압유가 사용가능하나 삼림용 장비와 같이 100℃까지 온도가 올라가는 경우에는 올레인산 에스테르 타입으로도 가능하고 건설장비와 같이 100℃ 이상의 가혹한 조건에서 사용되는 경우에는 안정한 합성 에스테르 타입의 생분해성 유압유를 사용해야 한다.

표 4 생분해성 유압유의 주요 물성 비교

물 성	식물유	Poly glycol	Oleic Acid Ester	Dicarmonic Acid Ester
저온 유동성	-	++	-	++
산화 안정성	--	++	-	++
유수 분리성	-	--	-	++
녹 방지성	++	-	+	++
광유 혼용성	가능	불가능	가능	가능
실 적합성	++	+	++	++
가수분해 안정성	--	++	--	+
가격	+	O	O	-
수명	--	O	O	++
효율	--	O	O	++

++:매우 좋음, +:좋음, O:보통, -:나쁨, --:매우나쁨

3. 환경친화성

3.1 생분해도

생분해도를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있는데 생분해되지 않고 남아있는 양을 직접 측정하는 방법, 용존유기탄소(DOC)를 측정하는 방법, 미생물에 의해 분해되어 생성된 이산화탄소를 측정하는 방법, 미생물이 분해하는데 필요한 산소량을 측정하는 방법 등 표 5와 같이 여러 가지가 있다.

이중 오일의 생분해성을 측정하는데 비수용성 물

질의 생분해성을 측정할 수 있는 CEC법과 Mod. Sturm(OECD 301B)법 등이 가장 널리 사용된다.

이전에는 CEC법을 주로 사용하였으나 현재는 OECD 301B법이 보다 보편적으로 사용되고 있으며 60% 이상이면 생분해도가 양호한 것으로 판단하며 독일의 환경마크인 블루엔젤에서는 인증기준으로 70% 이상을 적용하고 있다.

표 5 생분해도 측정방법

방법	측정 지표	공기 주입	시험 일	시료량 (mg/L)	박테리아 수
CEC	IR	Shaking	21	50	10 ⁶
Mod. AFNOR	TOC, DOC	Shaking	28	40	10 ³
Mod. Sturm	CO ₂ 발생	Blowing Air	28	10~20	10 ⁶ ~20·10 ⁶
Mod. MITI	O ₂ 소멸	Stirring	28	100	10 ⁷ ~10 ⁸
Closed Bottle	O ₂ 소멸	Sat. with Air	28	2~10	10 ⁴ ~10 ⁶
Mod. OECD	TOC, DOC	Shaking	28	10~40	10 ⁷ ~10 ⁸

표 6 국가별 생분해 유압유 관련 법규 및 규격

국가	규격	설명
오스트리아	O-Norm C2027	품질규격 및 생분해도
독일	Blue Angel (RAL-UZ 79)	생분해도 및 품질규격
	VDMA 24568	생분해 유압유 품질규격
	VDMA 24569	광유계 유압유를 생분해 유압유로 교체시 가이드라인
스칸디나비아	White Swan	
스웨덴	SS 15 54 34	생분해도 및 품질규격
네덜란드	VAMIL	생분해도 및 사용자에게 경제적 보너스 제공
영국	EA-standard	
미국	ASTMD 6046-98a	
장비제작사	Caterpillar BF-1	
	Komatsu G3, G4	

생분해도 실험은 시험자의 숙련된 기술과 시험하는 방법에 따라 차이가 크고 시료량도 매우 적으며 사용하는 균종이 명확하게 정해져 않아 시험결과에 따른 차이가 클 수 있다. 국내에서는 생분해도를 측정할 수 있는 공인기관이 거의 없고 또 모든 생분해도 실험을 다 할 수 없어서 필요시 유럽의 시험기관으로 시료를 보내 실험을 해야 하는 불편함도 있다.

표 6에서는 생분해 유압유 관련 법규 및 규격 등을 제정한 국가와 규격을 정리하였다.

3.2 무독성

윤활유가 유출되어 토양 등을 통해 하천으로 들어가면 생태계에 영향을 미칠 수 있다. 비록 생분해성을 지니고 있다고 하더라도 미생물에 의해 분해되는데 다소 시간이 걸리므로 생태계의 어류나 각종 생물들에게 치명적인 해가 되기도 한다. 따라서 생분해성뿐만 아니라 무독성(non-toxic)도 지녀야 할 중요한 특성이다. 무독성 시험도 여러 가지가 있으나 생분해성 유압유에 적용하는 시험법은 표 7과 같다.

표 7 각종 독성시험

시험법	시험 내용	시험조건
OECD 201	일정시간 동안 녹조류에 오일을 노출시켜 오일에 노출안한 것과 비교하여 성장 저해성을 관찰.	22± 0.2℃, 72시간
OECD 202	시험유에 미생물(Daphnia magna)을 일정량 투입하고 24시간 동안 실온에서 방치 후 미생물의 감소량을 측정하여 유해성을 관찰(급성독성 측정)	22± 0.5℃, 24시간
OECD 203	어류(Poecilia reticulata (Guppy)) Daphnia magna)에 미치는 급성독성 시험법으로 96시간 동안 어류에 노출하여 물고기 중 50%가 사망 할 때의 농도 측정.	23± 2℃, 96시간, 7마리

무독성의 유압유라고 한다면 적어도 상기 세 가지 시험에 사용하는 녹조류, 미생물, 어류 등 어느 생물에도 독성이 없다고 판단되어야 할 것이며 통상 100mg/L 이상의 농도가 되어야 한다.

독성을 판단하는 다른 방법 중 하나는 물질의 물

리적, 화학적, 그리고 생물학적 특성을 기초로 하여 수질에 위험을 줄 수 있는 가능성에 따라 구분한 수질위험등급(WGK: Water Hazard Class)이 있으며 VCI 분류와 VwVwS 분류의 두 가지 분류 방법이 있다.

VwVwS 분류에서는 수질에 오염성이 없는 물질을 nwg라고 하며, 위험성이 낮은 물질은 WGK 1, 수질에 위험을 줄 수 있는 물질을 WGK 2, 수질에 매우 심각한 위험을 줄 수 있는 물질을 WGK 3으로 구분한다(그림 1).

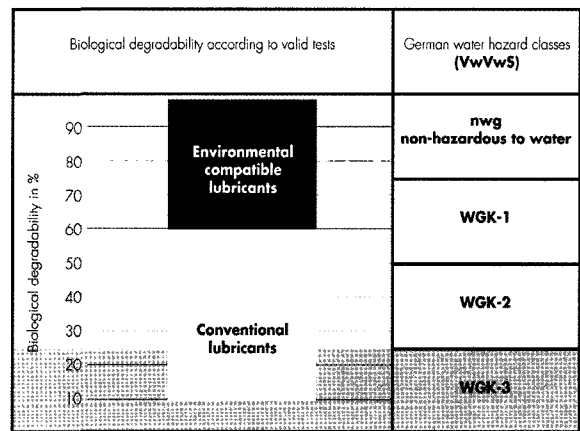


그림 1 수질위험등급과 생분해도

생분해도가 높을수록 수질위험등급도 낮으며 생분해 유압 작동유와 같이 혼합물도 혼합물의 구성성분에 근거하여 WGK 수준을 판단하는데 무독성 생분해 유압유라고 하면 VwVwS 분류로 최소한 WGK 1등급 이하는 되어야 한다.

4. 윤활특성

생분해성 유압유에 사용되는 주 원료가 에스테르나 식물성 오일 등과 같은 합성유 이므로 합성유의 가장 큰 단점인 각종 씰이나 호스, 도료, 필터 및 기타 유압 부품의 재료와 상용성에 문제가 없어서 각종 기능품들과의 적합성을 장비 제작자들로부터 인정받을 수 있어야 한다.

이를 위해 충분한 단품 시험과 실차 시험을 통해 장비 시스템 측면에서 오일로 인해 문제가 발생하지 않고 장시간 사용하여도 우수한 윤활특성을 지속적으로 제공해 주는 것을 입증 받아야 한다. 환경친화적 유압유라고 하더라도 윤활 성능이 제 역할을 발휘하지 못하면 사용자에게 고비용만을 부담 주게 되

므로 실효성이 없다. 광유계나 기타 합성유와 비교해서 우수한 생분해성 유압작동유가 되기 위해서는 생분해도 외에 다음과 같은 윤활유로서의 특성을 만족해야 한다.

- ① 온도에 따른 점도 특성
- ② 저온유동성 및 우수한 유동점
- ③ 열 및 산화안정성
- ④ 가수분해 안정성
- ⑤ 철, 동과 같은 금속과의 적합성(부식방지성)
- ⑥ 각종 쉘과의 상용성
- ⑦ 거품성, 방기성(Air Release)
- ⑧ 내하중성
- ⑨ 펌프 내마모성 등

상기와 같은 특성을 지니기 위해서는 생분해 기유와 첨가제간의 상용성을 잘 파악하여 우수한 성능의 첨가제를 적절한 함량으로 사용해야 하는데 생분해성 유압작동유의 주요 성분비는 다음과 같다.

- 생분해성 기유 : 95% 이상
- 산화방지제 : 1.0~2.0 %
- 금속부식방지제 : 0.1~0.5 %
- 내마모첨가제 : 0.5~1.0 %
- 소포제 : ~0.05 %
- 점도지수향상제 : ~5.0 %

생분해성 유압유도 일반 내마모 유압유와 마찬가지로 극압 및 내마모 첨가제, 부식방지제, 산화방지제, 항유화제, 거품 방지제 등 여러 가지 첨가제가 사용된다. 생분해성 유압유의 생분해 특성은 구성성분의 대부분을 차지하는 기유의 분해에 의한 것이다.

비록 소량이지만 첨가제 성분은 생분해가 쉽게 일어나지 않고 생태계의 어류나 각종 생물들에게 치명적인 해를 줄 수 있기 때문에 이들 첨가제에 대한 독성학적인 연구가 있어야 하고 기유의 생분해성을 방해하지 않아야 한다. 이런 이유로 일반적인 광유계 유압유에 비해 생분해성 유압유에 사용되는 첨가제가 다소 제한적이다.

생분해성 유압유에 대한 환경마크를 최초로 도입한 독일의 경우 블루엔젤에서는 생분해성 유압유에 사용하는 첨가제에 대해서도 사용을 제한하고 있는데 발암성, 돌연변이성, 기형성이 없고 염소나 아질산염, 금속성분(예외로 칼슘만 0.1%이하)이 없어야 하며 첨가제 성분이 7% 이하이고 이중 생분해되지 않는 첨가제라고 하더라도 독성이 낮다는 전제하에서 2%를 넘지 않아야 한다고 규정하고 있다.

따라서 기술적 측면 외에도 환경 및 생태학적 측

면 때문에 일반 광유계 내마모 유압유에 사용되는 첨가제는 생분해성 유압유에 사용되는 첨가제로 사용될 수 없으므로 생분해성 유압유를 개발하는데 다소 제한적이다. 최근 들어 첨가제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고 새로운 환경친화적 첨가제가 계속해서 소개되고 있으므로 고성능 생분해성 유압유가 계속 개발될 것으로 생각된다.

오일 제조사에서는 세계적인 첨가제 회사에서 환경친화적으로 개발한 패키지 타입의 첨가제를 사용하는 경우도 많지만 특정 물성을 보장하기 위해 각각의 성분을 이용하여 독자적으로 개발하거나 또는 개발된 패키지 첨가제를 기준으로 특정 첨가제를 추가해서 최적의 제품을 개발하기도 한다. 여기서는 수많은 생분해성 유압유 중에서 국내에서 최근 가장 많이 사용되고 있는 제품 중 하나인 Panolin HLP Synth 제품에 대한 특성을 표 8에 나타내었다.

5. 경제성

합성유에 사용되는 기유 중에서 에스테르가 비교적 고가이며 사용되는 첨가제도 제한적으로 사용되기 때문에 생분해성 유압유의 가격이 상대적으로 비싸지만 산화안정성과 내마모성이 우수한 제품을 사용하여 교환주기를 연장할 수 있으므로 비용증대를 최대한 억제할 수 있다.

우수한 품질의 생분해성 유압유는 유압 펌프 단품 시험에서 20,000h 이상 시험하여도 오일의 산화 및 전단에 의한 점도 변화가 거의 없으면서 내마모성을 계속 유지한다고 보고된 바 있다. 또한 국내 굴삭기 제조업체에서 생분해성 유압유를 사용하여 가혹한 조건하에서 실시한 실차 실험에서도 오일 교환 없이 4000h 이상 사용하였지만 장비에 문제가 없다는 것을 확인하였다.

하지만 이같이 오일 교환주기를 연장해서 사용하기 위해서는 선행보전과 같은 오일관리를 적절히 병행해서 최적의 조건에서 사용될 수 있도록 해 주어야 한다. 주기적인 실험을 실시하고 과다한 수분이 발견되거나 오염물질이 발견되면 적절한 필터를 사용하거나 수분제거와 같은 관리를 통해 기기 장비와 오일의 수명을 모두 연장시킬 수 있다.

6. 결 론

지금까지 환경친화적 생분해성 유압유의 특성에 대해 살펴보았으며 내용을 정리하면 다음과 같다.

표 8 생분해성 유압유의 일반적 물성

물성		ISO 등급				
		15	22	32	46	68
동점도, cSt	-20℃	350	650	1200	2200	3600
	0℃	92	146	239	415	658
	40℃	16.4	21.8	30.6	47.0	70.6
	100℃	3.99	4.70	5.89	8.10	11.3
유동점, ℃		-60	-58	-58	-57	-55
인화점, ℃		220	220	240	240	240
수분, mg/kg		< 1000				
동부식		1 이하				
산화안전성 @110℃, 72h	40℃ 점도증가	0.05	0.57	0.20	0.15	0.42
	시험온도	80℃			100℃	
1000h 철안정성	철재질	FPM, NBR, AU			FPM	
	강도변화	OK				
	상대부피 변화	OK				
	신장저항 변화	OK				
	신율변화	OK				
방기성, 분@50℃		4	5	5	7	8
베인펄프 마모	링, mg		11	14	11	10.4
	베인, mg		10	11	10.7	10.2
전산가, mgKOH/g		1.2	1.2	1.3	1.3	1.3

1. 우수한 생분해 특성을 지니고 있으면서도 광유계와 비교해서 적절한 윤활특성을 유지해야 하고 기기 장비 및 각종 씰과의 적합성으로 기기에 트러블을 일으키지 않아 장비제작자의 추천, 승인을 받을 수 있어야 한다.

2. 생분해성 유압유의 종류는 사용하는 기유에 여러 가지가 있으나 식물성유, 폴리글리콜계통의 유압유는 용도에 한계가 있으며 합성 에스테르가 가장 우수하며 사용범위도 넓다.

3. 생분해성 외에도 독성이 없어 환경에 노출되어도 각종 생물에 영향을 주지 않고 수질오염에도 영향이 없어야 한다.

4. 상대적으로 고가인 생분해성 유압유를 사용하기 위해서는 경제적 측면을 고려해야 하며 적절한 윤활관리가 중요하다.

참고 문헌

1) P. Lammler, "Panolin HLP Synth More than a Decade of Experience", SAE 981492.
 2) TNO Environmental and Energy Research, "Test Report", No. IMW-R93/073, 1993.

3) Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research, "Test Report", No. 126399G, 1996.
 4) BMG Engineering Ltd., "Test Report", No. 439/g-98, 1998.
 5) MBT Environmental Engineering Ltd., "Test Report", No. 110/a-95, 1995.
 6) MBT Environmental Engineering Ltd., "Test Report", No. 119/g-95, 1995.
 7) Uniqema, "Environmental Acceptable Hydraulic Fluids", 2002.
 8) Panolin, "Bio Hydraulic Fluids", 2004.
 9) 정근우, "생분해성 윤활기유 기술동향", 윤활유 협회보, Vol. 108, pp. 7, 2003.
 10) Federal Ministry for the Environment Nature, Conservation and Nuclear Safety, "General Administrative Regulation under the Federal Water Act on the Classification of Substances Hazardous to Waters into Water Hazard Classes", Federal Water Management Act, May 1999.
 11) A. Fesenbecker, I. Roehrs and R. Pegnoglou, "Additives for Environmentally Acceptable Lubricants", NLGI Spokesman, pp. 9, Sep. 1996.

[저자 소개]

조정희(책임저자)



E-Mail : jhc3869@lgcaltex.co.kr
 Tel : 042-866-1725

1992년 서울대학교 공업화학 석사 졸업. 1991~현재 LG칼텍스정유 기술연구소 근무. 유압 작동유 관련 제품개발, 제품기술, 컨설팅 활동에 종사. 한국윤활학회 회원.

[저자 소개]

김영준



E-Mail : yjkim5706@lgcaltex.co.kr
 Tel : 02-2005-6843

1998년 충남대학교 고분자공학과 석사 졸업. 1998년 대우종합기계 입사. 2002년까지 대우종합기계 신뢰성평가센터에 근무하면서 장수명 유압 작동유, 생분해성 유압유 개발 및 평가 등에 종사. 2002년~현재 LG칼텍스정유 윤활유기술팀 유압 작동유 제품개발 고객지원 활동에 종사.