전기전자재료학회지 제 5 권 제 1 호 1992년 3월

절연유의 유동대전에 미치는 계면활성제의 영향에 관한 연구

A study on the Effect of Surfactants on the Streaming Electrification of Insulating Oil

임헌찬* 박재윤** 고희석** 김진식*** 이덕출*
(Heon-Chan Lim* Jae-Yun Park** Hee-Seok Ko**
Jin-Sik Kim** Duck-Chool Lee*)

요 약

본 연구는 고체-액체 계면에서 액체가 유동할때 발생되는 대전에 미치는 계면 활성제의 영향에 대하여 분석한 것이다.

流動電流는 流速의 增加에 따라 線形的으로 增加하고 油溫의 增加에 따라 약 46[℃] 이하에서는 增加하고 그 이상에서는 減少한다. 界面活性劑의 濃度가 增加함에 따라 流動電流는 減少하고 界面活性劑의 한 분자내 산소 원자의 수가 많을수록 流動電流의 減少效果가 크게 됨을 제시할 수 있다. 界面活性劑가 첨가된 絶緣油의 傳導電流는 溫度에 따라 無添加보다 다소 큰 傾向이 있으나 첨가량에는 현저한 차이가 없다.

ABSTRACT

In this paper, the effect of surfactants on the streaming electrification generated at a solid-liquid interface is studied.

The streaming current is linearly increased with increasing of oil velocity. It is increased at lower than 46[℃] and de-creased at higher than 46[℃]. The more the concentration of surfactants is increased, the more the streaming current is decreased. The prevention effect of the streaming current is prompted by increasing of the number of oxygen-atom in a molecule of surfactant. The conduction current of insulating oil which surfactant is added is larger than that of insulating oil which surfavtant is not added according as oil temperature is increased.

* 인하대학 전기공학과
** 경남대학 전기공학과
*** 국방품질관리소

절연유의 유동대전에 미치는 계면활성제의 영향에 관한 연구

1. 서 론

오늘날 석유공업에 있어서 물질의 輸送, 貯藏 분야에서 석유가 송유관 및 오일필터를 통과하여, 저장탱크로 送油된다.[1), 2)] 이때 탱크내에 다량의 帶電電荷가 累積되고 油面電位 및 電界가 상당히 增加하기 때문에 저장탱크 내의 구조물과 帶電油 間에 불꽃방전이 발생하고, 可燃性 혼합기체에 着火되어 爆發을 일으키는 일이 있다.[3)] 또 이와 같은 現象은 항공기 연료의 보급의 경우에도 발생될 수 있다. 따라서 産業이 고도로 발달할수록 유동대전으로 인한 靜電氣 災害는 늘어나게 되고 災害量도 增加하게 된다.[4)] 그러므로 선진국을 중심으로 靜電氣 災害防止에 대한 硏究의 일환으로 유동대전에 대한 연구과제가 새롭게 등장되고 활발하게 연구가 進行되고 있는 실정이다.[5), 6)]

本 硏究는 流動帶電으로 발생되는 靜電氣 災害의 防止를 목적으로 絶緣油를 循環시킬때 流動帶電에 의하여 발생되는 帶電電荷를 減少시키기 위하여 絶緣油에 界面活性劑를 添加하고 絶緣油-絶緣紙 界面에서 界面狀態를 변화시키는 方法을 통하여 流動帶電의 減少方法에 대한 硏究를 實驗적으로 수행하였다.

2. 실 험

2-1. 시료유 및 첨가제의 특성

本 實驗에 사용된 試料油는 일반시중에 시판되고 있는 鑛油系의 電氣 絶緣油 ASTM D-3487 규격의 TYPE Ⅱ이다.

流動帶電의 방지를 위해서 사용된 界面活性劑는 일본 KAO사제품인 비이온성 界面活性劑로 Polyoxyethylenelarylether 104, Polyoxyethylenelarylether 306 및 Polyoxyethylenelarylether 404등 세 종류를 사용했으며 그 分子構造式은 다음과 같다.

1) 폴리 옥시 에틸렌 라우릴 에테르 104

$C_{12}H_{25}O\ (CH_2CH_2O)_n\ Hn\ =4$

2) 폴리 옥시 에틸렌 오레일 에테르 404

$C_{18}H_{35}O\ (CH_2CH_2O)_n\ Hn\ =5$

3) 폴리 옥시 에틸렌 스테아우릴 에테르 306

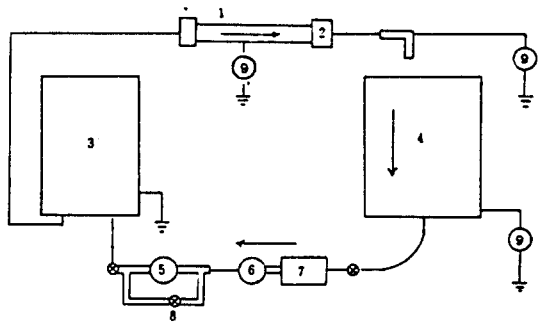
$C_{18}H_{37}O\ (CH_2CH_2O)_n\ Hn\ =6$

이들 界面活性劑의 分子構造式에서 $-(CH_2CH_2-O)_n$는 新水基로서 산소 원자를 포함하고 있다. 따라서 폴리옥시 에틸렌 스테아우릴 에테르 306의 경우가 界面活性劑의 한 분자중 산소 원자가 가장 많이 포함되어 있다.

이들 界面活性劑의 친수기에 포함된 산소 원자가 流動帶電에 미치는 影響과 산소 원자수의 변화가 流動帶電의 방지에 미치는 影響에 초점을 두고 분석한다.

2-2. 실험장치

유동대전량을 용이하게 측정하기 위하여 대전파이프를 설계, 제작하고 流動電流를 측정하기 위한 實驗裝置의 槪略圖를 그림 1에 도시하였다.



1. 帶電파이프 2. 테프론 3. 완화탱크
4. Faraday Cage 5. 펌프 6. 유량계
7. 필터 8. by-pass valve 9. 전류계

그림 1. 流動帶電 實驗裝置 槪略圖
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus of streaming electrification

絶緣油가 순환할때 대전 파이프에서 流動帶電에 의해서 대전된 油中電荷가 유의 흐름과 함께 흘러서 파라데이 케이지에 저장되고 이것이 접지로 완화된다. 이때 발생되는 완화전류를 測定하기 위하여 지름 410[mm], 길이 450[mm]인 파라데이 케이지를 스테인레스로 설계·제작하였다. 대전파이프외 流量計, 펌프, 필타 및 기타 循環系統에서 流動電荷에 의해 油中에 帶電電荷가 발생된다. 따라서 대전 파이프로 유입되는 絶緣油를 항상 中性油로 유지시키기 위해서 지름 500[mm], 길이 600[mm]인 완화탱크를 스테인레스로 설계·제작하고 대전 파이프 앞부분에 연결하여 접지 시켰다. 油溫은 용량이 2[kV]인 히타 4개를 완화탱크에 부착하여 변화시켰다.

流量을 검출하기 위하여 (주)동화流量計의 (N-20-C)모델의 積算形 流量計에 필터를 부착하여 순환계통에 접속하였다. 펌프는 (주)Tuthill pump CO社 제품인 출력 0.5마력 모타-기어펌프 결합형을 사용하였다. 流量은 모타의 회전속도는 일정하게 유지시키고 펌프와 병렬로 접속된 by-pass 벨브를 조절하여 변화시켰다. 기타 循環系統은 일반시중에 시판되고 있는 비닐 호스를 사용하였고, 대전 파이프는 지름 30[mm], 길이 400[mm]인 스텐레스 파이프를 사용하여 그 내부에 絶緣紙로 관을 만들어 사용하였다. 界面活性劑를 첨가한 絶緣油가 비닐호스를 통과하는 동안 流動帶電 現象을 관측하고 또한 傳道電流 特性의 변화도 측정하였다.

전원은 Takeda-Riken TP-300C High voltage power supply를 사용하였다. 전극은 (50mm×50mm×2mmt)구리 평판 전극을 사용하고, 테프론(60mm×50mm)으로 전극 지지대를 設計·제작하였다. 전극 간격은 1[mm]로 하였다.

2-3. 실험방법

絶緣油의 流動電流 測定은 펌프로 약 1시간동안 絶緣油를 순환시켜 實驗裝置를 정상상태로 유지시킨 후 각 유량에서 대전 파이프로부터 접지로 흐르는 電流를 측정하였다. 流量은 1~7[ℓ/min]로 변화시킨다. 또한 絶緣油의 온도는 18~60[℃]로 변화시켰고 비이온성 界面活性劑의 濃度는 100~1000[ppm]으로 변화시키면서 위와 같은 實驗을 반복하였다.

絶緣油의 傳道電流 測定은 평판전극을 진공유조내에 설치하고 試料油를 주입한후 주위조건을 일정하게 하기 위하여 진공펌

프로써 10^{-1}(torr)정도의 유지시키면서 傳導電流를 측정하였다. 絶緣油의 온도를 온도조절기로 이용하여 소기의 測定 溫度로 유지시킨 다음 電界를 印加하고 20분이 경과하여 전류변화가 거의 없는 일정한 값을 測定하였다. 시료에 인가한 전계는 10^2~10^3 [V/m]이다.

3. 결과 및 검토

대전 파이프를 통하여 흐르는 절연유의 유량, 界面活性劑 농도 및 유온변화로 인한 유동전류 특성은 다음과 같다.

1) 流量 依存性

대전파이프에서 油溫을 18[℃]로 일정하게 유지시키고 流量을 1~7[ℓ/min]로 변화시키며 측정한 유동전류 I_p의 測定結果를 그림 2에 도시하였다.

I_p는 流量의 增加에 따라 增加한다. 이것은 유량의 증가에 따라 절연지-절연유의 계면에서 분리되는 전하량이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

2) 界面活性劑의 濃度 依存性

油溫 18[℃], 流量 6.5[ℓ/min]로 일정하게 유지시키고 비이온성 界面活性劑인 polyoxyethylenelaurylether 104, polyoxyethylenelaurylether 306 및 polyoxyethylenelaurylether 404등 세가지 종류를 絶緣油에 添加하였다. 添加劑의 濃度增加에 따른 流動電流의 測定 結果를 그림 3에 도시하였다. 絶緣油中의 界面活性劑의 濃度가 增加함에 따라 流動電流는 減少하고 polyoxy-

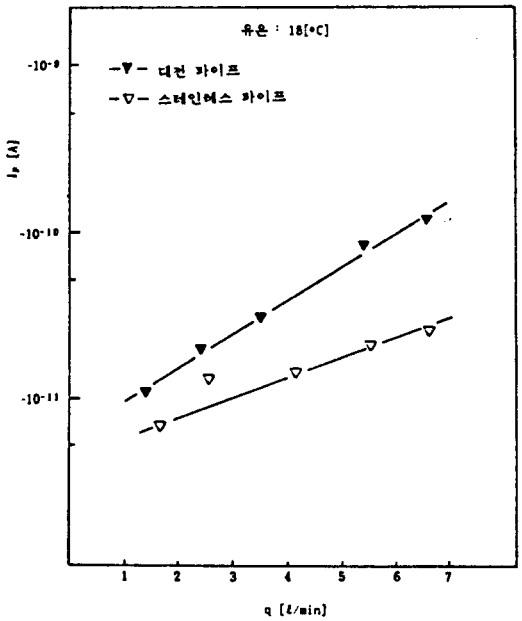


그림 2. 流動電流의 流量 依存性
Fig.2. Dependence of streaming current on oil flow rate

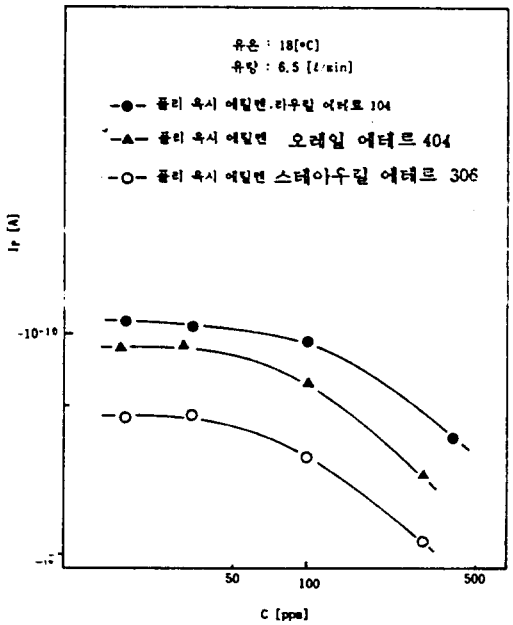


그림 3. 流動電流의 界面활성제 濃度 依存性
Fig.3. Dependence of streaming current on surfactant concentration

ethylenesteaurylether 306이 가장 우수한 대전방지 特性을 나타낸다.

이러한 현상은 添加된 界面活性劑가 絶緣紙－絶緣油 界面에 흡착되어 그림 4-(b)와 같이 막을 형성한다. 界面活性劑 분자 중에 있는 산소원자는 두쌍의 고립전자쌍을 가지고 있다. 이 고립전자쌍이 絶緣油 中에 존재하는 正이온을 Coulomb력으로 끌어당겨 그림에서와 같이 正이온이 고착층에 흡착되고 그 외부에 負이온의 확산층이 형성되는 電氣二重層이 형성된다. 그러므로 확산층내의 정이온의 수가 界面活性劑가 添加되기 전보다 減少하게 된다. 따라서 流動帶電이 減少되는 것으로 사료되며 界面活性劑 中 산소의 수가 많을수록 대전방지 效果가 큰 것으로 사료된다.

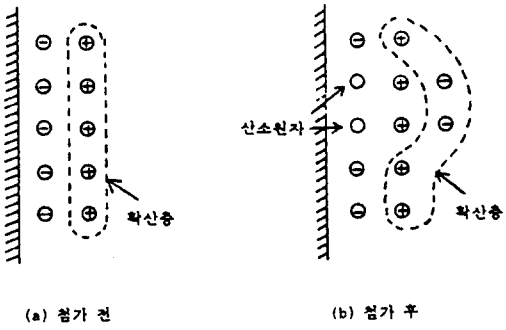


그림 4. 界面활성제의 作用
Fig.4. Effect of surfactant on oil temperature

3) 油溫 依存性

界面活性劑의 濃度를 300[ppm], 流量을 6.5[ℓ/min]로 일정하게 유지시키고 油溫을 18~60[℃]로 변화시키면서 流動電流를 測定한 結果를 그림 5에 도시하였다. 油溫의 增加에 따라 流動電流는 增加하고 약 46[℃] 부근에서 피크값을 나타내고 減少하는 경향이 있다. 이러한 현상은 전보[7]에 고찰한바 절연유의 도전율이 온도에 따라 증가하여 액체측으로 부터 파이프로의 전하완화시간(τ)이 짧아지기 시작하며 유온 46℃ 부근에서 도전율과 완화시간과의 관계에 의하여 나타나는 것으로 사료된다. 그러나 이러한 현상은 계면활성제 첨가에는 영향이 없음을 알았고 무첨가된 절연유의 유동전류보다 전체적으로 작은 값을 나타내는 경향이다.

그리고 계면활성제가 절연유의 유동대전에 감소 효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 계면활성제가 첨가되므로써 절연유의 전기전도가 증가되면 절연파괴현상이 발생되므로 계면활성제가 첨가된 절연유의 전기전도 특성을 분석하는 것이 계면활성제의 활용 영역을 확대시키는 수단이 될 수 있다. 따라서 전기전도 특성의 전계와 유온 변화에 따른 결과를 분석한다.

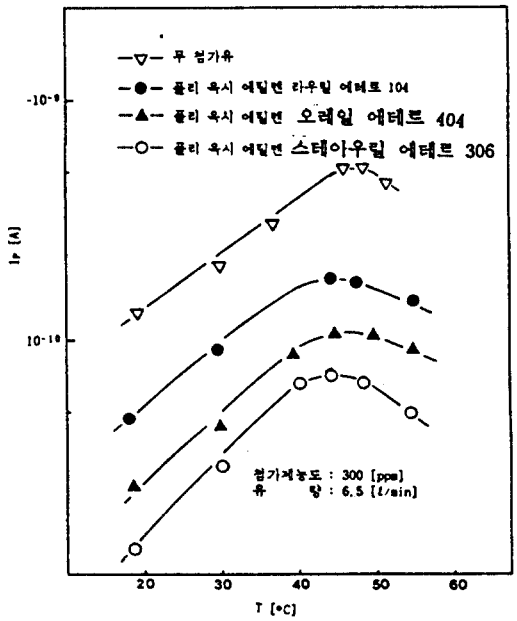


그림 4. 界面활성제의 作用

그림 5. 流動電流의 油溫 依存性
Fig.5.Dependence of streaming current on oil temperature

4) 電氣傳導의 電界 依存性

전극 Cu, 油溫 18[℃] 및 계면활성제 첨가량을 300[ppm]로 일정하게 유지시키고 電界를 10^2~10^3[V/cm]로 변화시키면서 測定한 傳導電流를 그림 6에 도시하였다.

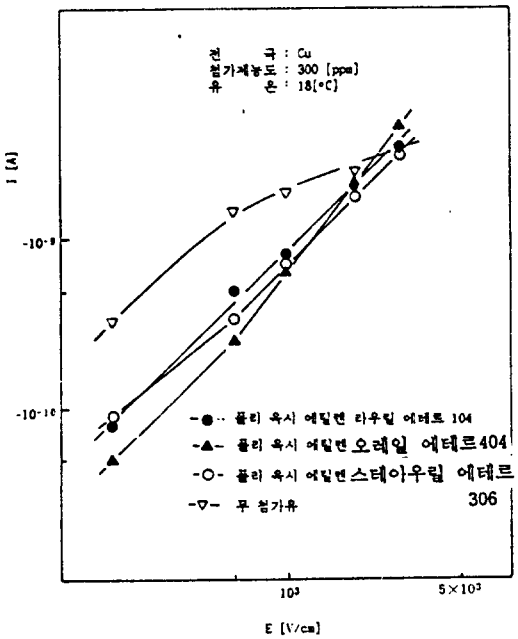


그림 6. 傳導電流의 電界 依存性
Fig.6.Dependence of conductive current on electric field

전계의 增加에 따라 傳導電流는 비례하여 增加하고 있으며 界面活性劑의 종류에 따라 값의 차는 크지 않다. 界面活性劑를 첨가하지 않은 絶緣油의 傳導電流는 전형적인 液體誘電體의 傳導電流 特性인 전계가 增加함에 따라 오옴영역과 고전계 영역에서 電流가 포화되는 영역으로 구분된다.

그러나 界面活性劑가 添加된 絶緣油의 傳導電流는 무첨가 절연유와는 달리 포화되는 영역은 없고 1000[V/cm] 이하에서는 오믹특성에 가깝고 이 이상의 전계에서는 증가비율이증가하는 특성을 나타내고 있다.

또한 전계가 5000[V/cm] 이하 영역에서는 界面活性劑를 첨가하지 않은 경우의 傳導電流가 界面活性劑를 添加한 경우의 傳導電流값보다 크고 전계가 增加함에 따라 그 차이는 減少하고 5000[V/cm] 이상의 고전계 영역에서는 界面活性劑를 添加한 경우의 傳導電流가 크게 된다. 이와 같은 現象은 絶緣油에 添加된 界面活性劑의 친수기가 絶緣油중의 수분과 결합하여 수분에 의한 전도현상을 減少시키기 때문인 것으로 사료된다.

5) 電氣傳導의 油溫 依存性

전극 Cu, 電界 2000[V/cm] 및 界面活性劑의 濃度를 300[ppm]로 일정하게 유지시키고 油溫을 18~60[℃]로 변화시키며 傳導電流를 測定한 結果를 그림 7에 도시하였다. 界面活性劑가 添加된 絶緣油의 傳導電流가 무첨가된 絶緣油의 값보다 전체적으로 크지만 지온영역으로 갈수록 차가 減少된다. 界面活性劑의 종류에 따라 傳導電流 차이는 크지 않다. 또한 고온영역에서는 傳導電流가 무첨가의 경우와 거의 같은 비율로 增加하고 있다. 이는 온도가 增加함에 따라 분자의 열운동에 의해서 界面活性劑의 친수기가 물분자와 결합하기 어렵게 되기 때문인 것으로 사료된다.

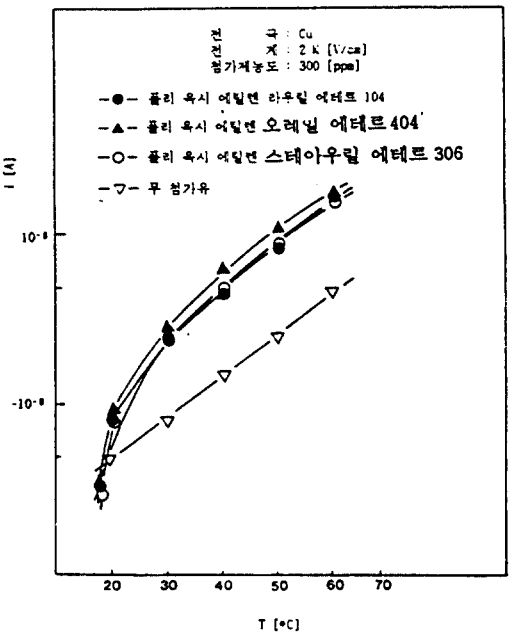


그림 7. 傳導電流의 油溫 依存性
Fig.7.Dependence of conductive current on oil temperature

4. 결 론

固體－絶緣油 界面에서 界面活性劑를 첨가한 絶緣油가 流動할 때 발생되는 流動帶電 현상을 界面活性劑의 종류, 濃度 및 유온변화 등에 따라 관측되는 유동대전특성은 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 流動電流는 流量이 增加함에 따라 增加하고 油溫의 변화에 따라서 46[℃] 이하에서는 增加하고 그 이상의 온도에서는 減少하는 傾向이 있다. 이들은 流量에 따라 界面에서 분리되는 電荷가 증가하고 온도의 增加에 따라 導電率이 增加하는 것으로 해석된다.

2) 界面狀態를 변화시켜 流動帶電을 減少시킬 목적으로 絶緣油에 界面活性劑를 添加한 경우 界面活性劑의 濃度가 增加함에 따라 流動電流는 減少하며 界面活性劑의 한 분자중 산소원자의 수가 많을수록 流動帶電 방지에 効果가 크게 나타났다.

3) 계면활성제가 첨가된 절연유의 전도전류는 계면활성제의 종류에는 상관이 거의 없으며 5000[V/cm] 이상의 고전압영역이나 온도변화에는 무첨가 절연유보다 크게 됨을 알 수 있다.

이러한 實驗結果로 界面活性劑가 절연유의 流動帶電 防止에 効果가 있음을 알았다. 그러나 界面活性劑가 添加된 絶緣油의 電氣傳道特性에서 전압 및 온도의 增加에 따라 전기전도가 無添加보다 큰 경향이 있으므로 이에 대한 추후 연구가 있어야 될 것으로 생각된다.

끝으로 연구실험에 많은 협조를 하여준 석사과정의 심재홍군에게 감사한다.

본 연구논문은 1991년도 인하대학 학술연구조성비 의 지원으로 이루어졌음을 알리며 관계당 국에 심심한 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. 靜電氣學會編 : 靜電氣ハソドッワ, pp. 101, pp. 888, 1981.
2. シエル石油株式會社編 : "21万トンタンカー連續爆發事故原因調査狀況中間報告", 1970年 2月 18日 シエル·インターナシヨナル·マリーン發表
3. 田村, 外2 : 電氣學會誌, 99.10.913, 1979.
4. 大久保仁, 外1 "油中絶緣における破壞と空間電荷", 靜電氣學會誌, 14.1, 1990.
5. 田中俊秀, 外3 : "Model Approach to Static Electrificstion phenomena by Oil Flow in Large Power Transformer", 靜電氣學會, 3. 4,pp. 274~282, 1979.
6. B. Hochart And J. P. Grandjeon : "Oil charging Tendency Effet On Large Power Transformers", Paper Printed at the 1987 Double Eng. Co. Client Conf. Boston, Massachusetts, Apr. 1987.
7. 이덕출, 박재윤 : 細管을 통과하는 絶緣油의 流動帶錢에 관한 연구, 전기전자재료학회, Vol. 23 No. 4, 1990.

(1991년 12월 18일 접수)

임헌찬
1960년3월26일생. 1984년2월 인하 대학 전기공학과 졸업. 1986년2월 인하대학 전기공학과 석사. 1992 년 현재 인하대학 전기공학과 박사과정.

박재윤
1960년4월15일생. 1986년2월 경남대학전기공학과 졸업. 1988년8월 인하대학전기공학과 석사. 1992년2월 인하대학 전기공학과 박사. 1992년 현재 경남대학 전기공학과 조교수.

고희석
1942년8월21일생. 1966년 부산대학 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학 대학원 졸업 (공학박사). 1992년 현재 경남대학 전기공학과 교수.

김진식
1948년 5월1일생. 1972년8월 인하대학 전기공학과 졸업. 1977년2월 인하대학전기공학과 석사. 1984년2월 Miami University 박사과정 수료. 1992년2월 인하대학 전기공학과 박사과정. 1988 년3월-현재 국방과학연구소 부설 국방품질관리소 선임연구원.

이 덕 출
1939년 1월 22일생 1963년 2월 인하대학 전기공학과 졸업 1966년 2월 인하대학 전기공학과 석사 1976년 9월 일본 Nagoya대학 전기공학과 (공학박사) 1981년 8월 일본 Nagoya대학 전기공학과 방문교수 1991년~현재 인하대학 전기공학과 교수