

자유기고문

레이다 역사 100년

곽 영 길
한국항공대학교 항공전자
및 정보통신공학부

I. 개 요

올해는 세계 최초로 독일의 “Christian Hülsmeyer”가 1904년 4월 30일에 레이다의 기본 원리를 특허로 등록한 지 100주년이 되는 해로서 레이다 관련 많은 국제학회에서 대대적으로 그를 레이다 개발 창시자로 기념하고 각국이 레이다 개발 100년사를 회고하는 행사를 가지고 있다. 지난 2004년 독일 Ulm에서 개최된 European SAR 2004에서는 Hülsmeyer의 업적을 기념하기 위하여 그의 인생 역사를 슬라이드로 만들어서 특별히 공개하였으며, Technical Tour를 통하여 그가 당시 일했던 현재의 EADS, Ulm(당시 Telefunken 회사)에서 학회 참석자들을 초청하여 그의 업적을 소개하였다. 또한, 2004 IEE International Radar Conference가 열린 프랑스 Toulouse에서는 특별히 “Historical Session”을 마련하여 그의 초기 레이다 발명 과정과 특허 등록 내용 등을 포함한 그의 레이다 개발 인생 역정을 7편의 논문으로 상세히 발표하였다. 또한 학회 기간 동안 로비에 레이다 발명 역사에 대한 Hülsmeyer의 패널을 전시하여 그의 업적을 기렸다. 본 논문에서는 저자가 2004년 국제 레이다 학회에 참석하여 수집한 자료를 토대로 하여 이들 역사적인 레이다 개발업적을 중심으로 초기 레이다 개발 과정과 특히 Hülsmeyer의 초기 레이다 발명 업적을 소개한다. 그리고 1920대 이후의 전반적인 레이다 역사 100년의 기술 발전 역사를 요약한다.

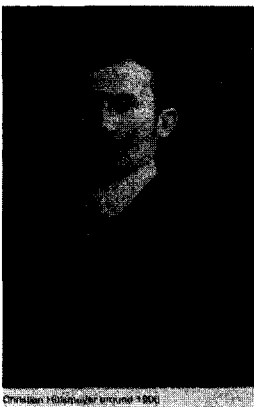
레이다의 기본 원리는 1885년과 1888년 사이에 독일 물리학자 하인리히 헤르쯔의 실험에 의해 최초로 입증되었다. 헤르쯔는 1864년에 발표된 제임스 클러크 맥스웰의 전자기장 이론을 실험적으로 증명하는데 성공하였다. 헤르쯔는 455 Hz에 가까운 주파수에서 펄스 레이다와 유사한 실험도구를 이용하였다. 그는 라디오 파장이 주파수 이외에는 빛과 비슷한 성질을 가지고 있다는 것을 보였다. 그는 무선 전파가 금속 물체에는 반사되고 유전체 프리즘에 의해 굴절된다는 것을 입증하였다. Hertz의 실험은 곧 인정을 받았으나, 그 실험을 실용화하지는 못하였다. 헤르쯔의 연구는 독일 과학자 Christian Hülsmeyer에 의해 레이다의 파장을 반사하는 물체들의 탐지와 물체들의 위치를 파악하는데 응용되었다. 그는 1900년대 초에 지금의 Monostatic 펄스 레이다와 유사한 장치를 개발하였는데, 이는 Hertz가 사용한 실험기구보다 한 단계 발전한 기구였다. Hülsmeyer는 1904년에 영국과 다른 나라에서 특허를 받았다. 그의 레이다는 선박들을 탐지하고 바다에서 선박의 충돌을 방지하는데 응용되었다. 그는 선박 회사들과 독일 해군에 그의 레이다 시범을 보였다. 비록 그의 레이다는 성공적인 유명세를 탔지만, 당시 선박 충돌 방지 시스템은 아무런 수요가 없었다. 그의 발명은 점차 기억 속에서 사라져 잊혀졌다. 지금의 레이다는 1900년도 초에 레이다가 몇 번의 재발명 후에야 지금의 기능적 가치를 이룰 수 있었다.

II. 최초의 레이더 특허

최초로 Hülsmeyer의 명성은 세계 2차 대전 이후에 그가 1904년에 초기 레이더 실험에 성공한 업적으로 처음 알려지게 되었다^[1][그림 1]. 그의 업적을 발굴하기 위하여 많은 문헌과 자료들을 참고하였지만 대부분 불확실하였고, 1989년에 David Pritchard의 저서 "Radar War"에 소개된 내용이 중요한 정보가 되었다.

Hülsmeyer의 딸 Annelise에 의하면, Hülsmeyer는 1902년 4월에 뉘셀도르프에 사는 그의 형제 Wilhelm 집으로 이사했다. Hülsmeyer는 송신기와 수신기를 만들고 전파의 반사기술에 대한 연구를 수행할 수 있는 전기회사를 설립했다. 그러나 그는 더 많은 연구비가 필요하여 결국 지방신문에 "당대의 획기적 발견"이라는 타이틀로 새로운 연구에 투자할 재력을 찾는 광고를 냈다. 한 쾰른의 가족상인이 그것을 보고 관심을 보였다.

1981년 Hülsmeyer의 탄생 100주년을 기념하여 그의 딸은 아버지의 발명품을 위해서 베를린의 특허 사무실에 Hülsmeyer의 초기 특허 출원서를 그녀에게 제공할 수 있는지에 대한 편지를 썼다. 다행히 베를린 사무소는 그의 아버지 출원서의 리스트를 그녀



Christian Hülsmeyer around 1900

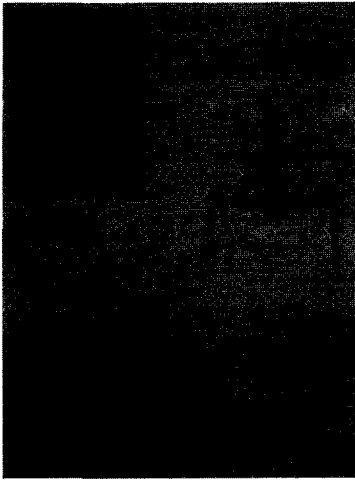
[그림 1] Christian Hülsmeyer.

에게 제공하였다. Hülsmeyer의 최초의 무선 관련 특허에서는 멀리 떨어진 폭발물의 점화원을 원격 제어하는 신호를 간섭으로부터 보호하는 내용이었다는 것을 알게 되었다. 1902년부터 1904년 증반까지 Hülsmeyer가 특허 출원한 개수는 독일에 18개 이상이었지만 한 개는 외국에서 무시되고 9개는 거절되었다. Hülsmeyer의 최초 레이더는 1903년 11월 21일에 제출되었지만 처음에는 거절되었다. 1903년 11월의 첫 번째 출원과 1904년 4월 30일 두 번째 특허출원서 사이에 Hülsmeyer의 Telimobiloskop 프로젝트에 대한 정보는 알 수 없다. 그러나 1904년 3월 14일에 "간섭제거 명령 시스템"에 대한 수정안으로 미국에 특허(810150)를 성공적으로 출원하여 1904년 3월 14일 인증되었다. 그러나 그의 가장 유명한 특허는 세계 최초의 레이더로 간주되어지는 특허번호 DE165546이다^[2]. 1904년 9월 22일에 바로 영국판 특허(GB13170)로 등록된 특허설명서를 간략히 소개한다. 세계 최초의 레이더 특허 출원서의 원문은 다음과 같이 시작한다.

"Herzian-wave Projecting and Receiving Apparatus Adapted to Indicate or Give Warning of the Presence of a Metallic Body, such as Ships or Train, in the Line of Projecting of such Waves."

"나의 발명품은 전자파가 금속 물체와 부딪혔을 때 송신 방향으로 되돌아 반사되어오는 전파 특성에 기초한다. 송신기와 수신기가 동일한 지점에 나란히 위치시키면 송신기로부터 나온 파가 금속성 물체, 즉 바다의 선박과 같은 물체로부터 반사되어 수신기로 정확하게 수신할 수 있을 것이다.... 나의 장치는 무선전신에서 사용하는 것과 유사한 수신국과 송신국으로 구성된다. 2개의 무선기기가 서로 아주 가까이 배치하여 잘 정렬되어 수신국과 송신국은 서로 직접적으로 영향을 주지 않아야 한다."

발명 특허에 대한 요지는 [그림 2]와 같이 반사신

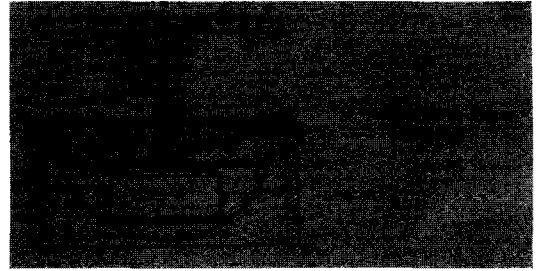


[그림 2] Telemobiloskop patent(30th April 1904).

호의 존재와 위치를 설명하며 방위각 정보는 지향성 안테나에 의해서 주어지며, 거리정보는 송신기 고도와 표적 측정 고도각과 관계한다고 되어 있으나 고도 예측과정이나 정확도에 대한 설명은 없다³⁾. [그림 3]은 송신기와 연관된 안테나이다. 송신기 안테나는 일종의 파라볼릭 안테나에 초점을 두어 배치하였다. 그것은 코니컬 혼 배열의 끝단에 위치되었다. 수신기 안테나는 파라볼릭 실린더에 초점을 두어 위치되었다. 그의 특허 원문에 대한 설명을 살펴보면 레이더 원리를 충분히 이해하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 초기 레이더의 목적은 선박의 충돌을 방지하는 시스템을 만드는 것이었다. 충돌의 위험은 약 1/4이기 때문에 그는 전 방향에서 보여야 한다고 생각했다. 따라서 그는 Telemobiloskop 회사에서 연속적으로 회전하는 메커니즘을 만드는데 몰두했다.

즉, 콤팩스는 회전하는 포인터를 사용한다. 그것은 실제 탐지 빔과 일치하여 회전한다. 그것의 연속적인 동작은 Hülsmeier의 레이더 플랫폼과 동기하게 된다.

Hülsmeier는 이미 1904년에, “panoramic 스캐닝”으로 알려진 기본적인 아이디어를 발명하였고, 거리

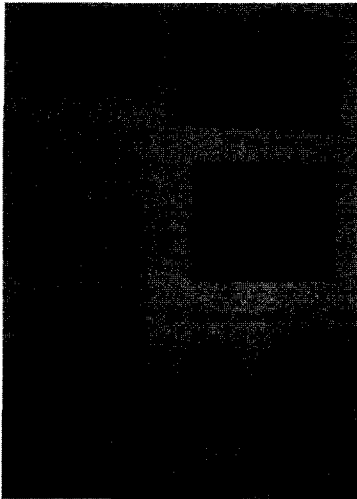


[그림 3] 송신기와 연관된 안테나

를 측정할 후에 PPI(Plan Position Indicator)에 지시되도록 할 수 있었다.

Ⅲ. 최초의 레이더 실험 데모

Hülsmeier와 그의 비즈니스 파트너는 “Telemobiloskop-Gesellschaft Hülsmeier & Mannheim”를 설립하였다. 1904년 5월 5일에 합법적인 사업을 시작하였고, Mannheim은 5000 마르크를 투자했다고 한다. 그들은 Telemobiloskop에서 “선박 충돌 방지 시스템”을 개발하여 미래의 시장을 개척하기를 원했다. 그들의 사업에 대한 최초의 신문 기사는 1904년 5월 17일 화요일 오후에 Domhotel에서 Hülsmeier가 레이더 지식이 없는 청중에게 어떻게 접근해서 레이더 원리에 대하여 이야기했는지 말해주고 있다[그림 4]. 일종의 사업 설명회는 호텔의 안마당에서 11시에 시작되었다. 참석자들은 Norddeutsche Lloyd와 Steam-ship Company Argo의 대표자들(수석 엔지니어)과 몇몇 관심 있는 사람들이 참석했다. 그는 이 기계가 3~5 km의 거리를 측정할 수 있는 원리와 예측 성능에 관해 잘 설명하였다. 수신기는 송신기의 위에 위치시키고 두 개 모두 금속판으로 분리되어 있다. 이렇게 함으로서 수신기는 송신된 신호를 바로 수신할 수 없도록 하고 오직 전자파가 수신기 방향으로 되돌아 반사되어진 후에만 수신기 가능하도록 하였다. 약 10미터 거리의 안마당으로 나가는 정문



[그림 4] Kōln experiment.

은 금속체에 반사되는 현상을 보여주기 위해서 사용되었고, 시연하는 동안 전자파가 일종의 비전도 물질을 통과하여 진행할 수 있다는 사실을 증명하기 위해서 커튼을 전자파 경로에 가로놓이게 하였다. 따라서 Hülsmeier는 그의 기계를 호텔 벽돌 벽 뒤에 위치시키고 그의 신호가 여전히 이 장애물을 통과하여 자유롭게 진행하는 것을 보여주었다.

시연 데모에서 송신기가 동작된 후 전자파가 정문에서 반사되어 수신기로 되돌아왔다. 수신기를 통하여 수신된 신호는 작은 모터 메카니즘에 연결된 전구에 불을 켜다. 이로서 그의 최초의 레이다 시연은 청중의 관심을 끄는데 성공적이었다. 또한 Cologne 신문은 라인강 뚝 주변에서의 실험과 Hohenzollern Bridge 아래에서 실험은 언급하지 않았지만 Domhotel에서 시연 데모를 본 참석자들은 도보로 5분 거리의 라인강 뚝으로 가서 확인했을 것이라고 말한다.

IV. 첫 번째 레이다 시연-로테르담 실험[그림 5]

Cologne에서 Hülsmeier의 레이다 실험은 곧 네덜

란드 로테르담의 폴랜드-아메리카 라인의 사장인 Mr J. V. Wierdsma의 관심을 끌었다. 연구가 진행되는 동안 Trans-Atlantic 선박회사와 “선박의 안전”에 관한 서신이 교환되었다. 선박회사 사장은 1904년 6월 9일에 Nautical Conference(Scheveningen)에 참석하는 사람들이 항구를 순회할 때 Hülsmeier의 기계를 시연해 보이도록 그를 초대했다. 로테르담 항구에서 Hülsmeier의 시연을 보여주기 위해서는 당시 컨퍼런스의 의사록을 인용하면 다음과 같다[그림 5].

The Telemobiloscope

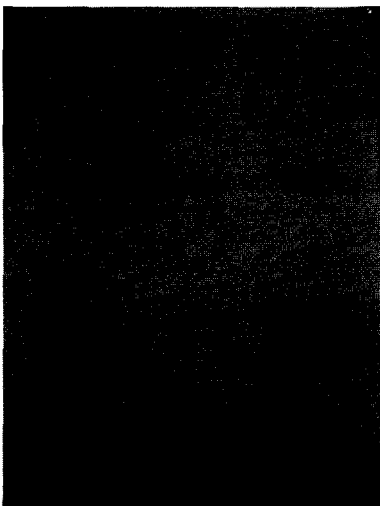
“이 장치는 무선 전신의 원리에 기본을 두고 있으며, 바다에서 다른 선박과의 거리와 방향을 확인하기 위해 발명되었다. 무선 전신의 송신기와 수신기는 서로 다른 곳에 위치하지만 Telemobiloscope는 같은 장소에 함께 위치한다. 그러나 송신기의 전기적인 흐름은 직접적으로 수신기에서 수신할 수 없도록 되어 있고 금속 물체에 부딪혀서 반사되는 신호가 수신기로 되돌아와야 수신할 수 있다. Telemobiloscope를 탑재한 선박은 밤이나 안개가 끼거나 해상 거리가 3.5 마일 정도 떨어진 지점에서 다른 선박을 발견할 수 있고, 이 선박의 위치를 확인할 수 있



[그림 5] 로테르담 실험

다는 사실은 이 발명품의 특징이다. 비록 콜롬버스 선박 위에서의 시연은 매우 제한적이었지만 완성되지 않은 장치를 가지고 실험한 것으로 볼 때 이 발명품의 원리는 정확했다고 판명되었다. 매번 어떤 거리에서 선박이 지나갔을 때 이 장치는 바로 정확하게 동작했다. 그러나 이 시연에서 사용된 장치는 아직 거리를 결정하는데는 적용하지 못했다.”

Hülsmeyster는 뉘셀도르프에 있는 집으로 돌아와서, 거리를 측정하는 방법에 관해서 연구하기 시작했다. 그의 아이디어 중의 하나는 배의 플랫폼 안정화를 위하여 수평의 변화에 대한 반대 평형력을 이용하여 전체 플랫폼을 기울이는 방식을 특허 방식(DE165546)을 고안했다. 그리고 고도와 경사각을 알고 있을 때 간단한 삼각 방정식을 이용하여 선박과 표적의 거리를 제공할 수 있다고 판단하였다. 이 방법은 1904년 11월 11일에 독일 특허 DE169154로 기록되었는데[그림 6], 1904년 11월 24일의 영국 특허(GB25608)와 유사하다. 특이한 것은 “시간 측정”이라는 개념이 필요 없이 거리를 측정하는 방법을 발견한 것은 매우 의미가 깊다. 세계 2차 대전에서 어



[그림 6] Patent 169154.

떤 독일 레이다는 이와 유사한 시스템을 사용했다고 알려져 있다.

V. 두 번째 레이다 시연-홀랜드 실험

Hülsmeyster의 혁신적인 telemobiloscope 장치는 당시 기술적인 어려움을 아직 극복할 수 없었던 상황에서 상당히 일찍 개발되었다고 믿어진다. 이것은 사실일는지 모르지만 최근 발견된 기록에 의하면 당시의 상황에서 볼 때 선평이 없었던 새로운 개념이었다는 것을 알 수 있다. 1905년 6월 8~9일에 런던에서 열린 Nautical conference의 의사록에서 발견된 Hülsmeyster의 장치에 대한 언급은 다음과 같다. “홀랜드 Hoek에서 새로운 시도는 실패했다. 대표자들 중의 한 사람이 원리에 기초한 이 장치는 예러가 있다고 판명하였으며, 더 이상 새로운 사실은 없다.” 이것은 Hülsmeyster가 1904년 6월 9일 로테르담에서 청중에게 시연한 이후 그의 시스템을 가지고 실험한 유일하고 구체적인 증거이다. Telemobiloskop-Gesellschaft를 대신하여 1904년 9월 16일에 쓰여진 Heinrich Mannheim의 편지에 의하면 Hülsmeyster는 6월 중순과 9월의 2째주 사이에 더 상세한 시스템을 설계했고, HAL Company가 이 성능 개량에 대해 2~3일 내에 새롭고 더 확실한 장치가 시연될 준비가 될 것이라고 알렸다. 이 편지에서 그는 공손히 그들이 바다에서 개최하는 두 번째 실질적인 실험을 위해 그들의 선박의 하나를 제공할 수 있는지를 물었다. 그리고 이 장치는 현재 2마일 반경의 거리를 포함할 수 있다고 지적했다(2 mile은 3.2 km이고 2 nm(nautical miles)은 3.7 km이다.). 며칠 후 편지 답장에서 선박회사 사장 Wierdsma는 컬럼버스 배 위에서 Telemobiloskop의 두 번째 실험을 기꺼이 지원하겠지만 바다에서 선박 사이에 더 긴 거리를 탐지하기를 기대한다고 답하였다. 이 실험이 성공한다면 우리는 증기선이나 범선 위에 Telemobiloskop를 설치할 수 있을 것이다.

VI. 레이더 상용개발 실패와 원인

왜 그는 두 번째 홀랜드 실험에서 실패하였는가? Hülsmeyer의 특허 출원서 자료를 조사해 보면 수신기 선택 감도에 대한 기술이 매우 부족하다는 것을 알 수 있다. 무선 산업의 초기에는 자멸을 초래했다. 마르코니 회사는 무슨 수단을 써서라도 세계의 무선 산업을 독점하려고 했다. 전자파 전송과 관련된 모든 것의 승인을 요구하기 시작했다. Hülsmeyer의 장치는 송, 수신기 시스템이 분리되어 있고 오직 반사된 신호가 수신장치에 도달한다는 사실을 이용하고 있다. 따라서 송신기 장치에서 큰 스파크 전력을 만들어 내어야 했으며 일반 무선전신기에 비하여 2배 거리의 경로를 통하여 송신기→반사기→수신기로 연결되는 레이더 방정식에 익숙하지 않았다는 사실을 짐작할 수 있을 것이다. 언제 그의 시도는 궁극적으로 실패를 했는가? 그의 실험 현장에는 사이트로부터 멀리 떨어져 있지 않은 여러 곳에 해안 무선국이 있었다. Hülsmeyer는 광대역의 신호가 다른 무선 신호에 간섭을 줄 수 있는 법적으로 금지된 큰 RF 에너지를 방사하였다. 1903~1904년부터 국가에서 무선 시스템의 허가를 받아야 했다. 특히 1906년 베를린 컨퍼런스 후에 선박 위에 있는 모든 시스템은 그 당시의 요구에 따라 설치되어야 했다.

Hülsmeyer는 Telemobiloskop 장치가 상업화하는데 실패하고 난 후 그의 동업자와 같이 새롭게 설립된 Telefunken 회사와 일하기를 원했다. 물론 Hülsmeyer가 그의 발명품에 투자한 자본의 일부를 되돌려 받을 수 있는 조건이었다. 그러나 그들은 1905년 8월 21일 매우 실망스러운 짧은 답변 편지를 Telefunken 으로부터 받았다. 이 편지에서 그들은 이 새로운 거리를 기록하는 발명품과 특허가 시스템으로 유용성을 찾지 못하여 유감스럽게 생각한다고 판단하여 서류를 되돌려주었다. Hülsmeyer가 그의 발명품을 상업화하려 했던 야망은 1905년 10월 11일에 끝났다.

이날 그는 쾰른의 왕실 법정에 가서 사업자 등록에서 Telemobiloskop-Gesellschaft Hülsmeyer & Mannheim의 이름을 지워버렸다.

VII. 1920년대 레이더 개발

1920년대에는 Hülsmeyer와는 다른 방법의 새로운 레이더 방법이 발견되었다^[4]. 무선 라디오의 개척자인 S. G. Marconi는 그의 실험을 통해서 라디오가 물체를 감지할 수 있음을 관찰하게 되고, 1922년 Institute of Radio Engineers(지금의 IEEE)에서 그의 연설을 통해 이 라디오의 이용을 강하게 제안한다. 마르코니의 연설에 대해 전혀 알지 못했던 워싱턴의 미국 해군 연구소 A. Hoyt Taylor와 Leo C. Young은 1922년 가을에 강 양쪽에 설치된 송신기와 수신기 사이로 지나가는 선박에 의해 전파신호를 수신기로 감지하게 된다. 이 장치는 CW Wave-Interference System으로 오늘날의 Bistatic CW 레이더와 같다. 1925년 워싱턴 카네기 연구소의 Breit와 Tuve가 이온층의 높이를 측정하기 위해 펄스 레이더 기술을 이용하였다. 그들의 실험기구는 레이더였지만 그 때만 하여도 그들의 관측 기술로 선박과 항공기를 탐지할 수 있는 원리로 쓰일 수 있다는 것을 알지 못하였다. CW Wave-Interference 방법을 이용하여 항공기와 기타 다른 물체들을 탐지하였다는 사실이 다른 여러 나라에서도 추가적으로 기록되었다. 1920년대 후반과 1930년대 초의 군사용 폭격기 출현이 결과적으로는 군사작전용 레이더의 발전에 기여하였다. 1차 세계 대전 이후, 폭격기의 접근을 알리는 장거리 경고 시스템이 군사적으로 매우 중요하였다. 따라서 많은 나라에서 이러한 폭격기의 위협에 대비해 폭격기 탐지 방법은 비슷하였으나 그 개발 과정은 거의 비밀로 부쳐졌다. 초기에는 음파 센서가 검토되었다. 폭격기를 감지하는 성능이 좋지 않음에도 불구하고 2차 세계대전이 시작되기 전까지는 많은 군대에 보급

되어졌다. 항공기 엔진에서 나오는 연소 소음을 감지하기 위한 시도도 행해졌지만 이러한 소음은 차단될 수 있음을 발견하고는 더 이상 사용되지 않았다. 적외선 센서 방법도 검토되었으나, 이는 거리 탐지 능력이 없을 뿐 아니라 전천후가 안되므로 사용하지 못하였다. 그런데 Bistatic CW 레이다는 일정한 거리를 두고 떨어진 무선 시스템의 송신기와 수신기 사이를 지나가던 항공기나 선박이 우연히 탐지되었다. 이 방법은 설치가 불편하기도 하고 단지 표적이 송신기와 수신기의 연장선을 통과했다는 정보밖에 주지 못하였다. 레이다 방법은 송신기와 수신기가 한 장소에 설치되어 펄스 파형을 사용되었을 때 비로소 유용하게 되었다.

VIII. 1930년대 레이다 개발 경쟁

1930년대 초, 레이다는 미국, 영국, 독일, 구소련, 프랑스, 이태리, 일본, 네덜란드 등의 여러 나라에서 동시적으로, 하지만 독립적으로 연구되었다. 이 시기에 이용된 레이다는 현재 레이다 주파수보다 낮은 주파수를 이용하였다. 최초의 레이다는 100~200 Hz의 주파수를 이용하였다. 그러나 British Chain Home 레이다는 전쟁 전에 이용한 30 Hz 저주파수이었고, 독일의 600 MHz Wuzburg 레이다는 전쟁 초기에 이용된 고주파였다. 레이다 발견 초창기의 기술들은 그 당시의 무선 통신 분야에서 도입한 최첨단 기술이었다. 마이크로파 레이다에 비교하면 비록 기술적인 제한이 있었지만 의도한 목적으로 잘 사용되었다.

8-1 미국의 레이다 개발

미국의 해군연구소(NRL)는 1922년과 1931년에 Bistatic CW 레이다 개발에 착수하였지만 상당한 노력을 거친 1934년에야 A. Hoyt Taylor와 Leo C. Young에 의해 “한 위치에서 사용할 수 있는 펄스 레이다”가 필요하다는 것을 알게 되었다. 1941년 12월

7일 일본군의 진주만 공격이 있기 전까지 132대의 레이다가 미 해군에 설치되었고, 79대는 다른 선박에 공급되었다. 이들 중의 20여대는 전투함과 항공모함 등에 설치된 200 MHz 대역의 CXAM 레이다였다. 1942년 중동 전쟁 동안 태평양에 있던 해군 레이다는 일본 해군에 대항할 정도의 성능에는 제한적이었다. 미 육군은 1936년에 펄스 레이다 개발에 착수하였다. 진주만 공격시점에 미국은 200 MHz SCR-268이라는 항공기 탐색 통제 레이다를 개발하여 해외에 배치하였다. 미 육군은 100 MHz SCR-270 레이다를 112대 배치하였고 이들 중 하나가 일본 항공대의 진주만 공격을 탐지하였다. 레이다는 잘 탐지하였으나 명령 통제장치가 가동되지 않아서 문제되었다.

8-2 영국 레이다 개발

1930년대 중반의 영국은 전쟁에 임박하여 미국보다 더욱 급박하였지만 실제 레이다 개발은 미국보다 뒤 늦은 1938년 여름에 30 MHz Chain Home 레이다를 개발하여 운용시험을 시작하였다. 1939년 9월 3일 제 2차 세계 대전 직전에 개발된 이 레이다는 주로 독일군 공습을 감시하기 위하여 전 전쟁 기간 동안 사용되었다. 1939년대까지 영국은 야간이나 악천후에 적기의 탐지와 교란을 위하여 200 MHz 대의 레이다를 개발하였으며 나중에 함정과 잠수함을 탐지할 수 있도록 개조하였다. 실제 고성능 레이다는 1940년대 영국이 고출력 캐비티 마그네트론을 영국의 버밍햄 대학에서 최초로 개발한 이후 고주파수를 적용하여 마이크로웨이브 레이다를 개발하였다. 영국은 이 기술을 미국에 공개하였고 미국은 제2차 세계대전 기간동안 이 캐비티 마그네트론 기술을 이용하여 MIT 링컨 랩과 벨 전화 랩에서 마이크로웨이브 레이다를 급하게 개발하였다.

8-3 독일 레이다 개발

독일은 헤르츠와 휠스메이어의 기술을 발전시켜

1940년말까지 주로 3가지 레이더를 개발하였다. 125 MHz Freya 대공탐색 레이더는 원래 해군을 위해 개발하였지만 독일 공군은 이동형 지상 조기경보 레이더로 개발을 시도하여 1939년에 야간 전투기 통제를 위한 지상 통제 레이더를 개발하였다. 그러나 전쟁 초기에 이 Freya 레이더는 8대 밖에 없었다. 또한 565 MHz 대역의 Wurzburg 사격 통제 레이더를 1940년 봄에 개발하여 전쟁이 끝날 때까지 4,000대 이상을 양산하였다. 함정용 레이더는 독일 해군에 의해 500 MHz Seetakt 레이더를 개발하여 1937~1938년 동안 4대의 주요 전함에 배치하였다. 이 Seetakt는 세계 최초의 군사용 레이더로서 전쟁 초기에 100대를 양산하였다. 1940년대 독일의 레이더 기술이 세계적으로 앞선 기술이라는 것을 전쟁 후에 비로소 미국과 영국이 알게 되었다. 그러나 독일군은 그들의 앞선 기술 장점을 이어가지 못했고, 그 이후 영국의 대형 폭격기가 독일을 침공했을 때 비로소 자신들이 뒤지고 있다는 것을 알게 되었으며, 그 때는 이미 영국과 미국의 빠른 기술 개발을 따라가기에는 너무 늦었다.

8-4 러시아 레이더 개발

러시아는 뒤늦게 1930년대 초에 레이더 개발에 관심을 가졌으나 자신들이 독일의 침공을 받은 1941년 6월에야 레이더를 생산하게 되었다. 이들 레이더는 레닌그라드와 모스크바의 대공 방어로 사용되었다. 첫 번째 모델인 RUS-1 레이더는 Bistatic CW 레이더로 75 MHz 주파수를 사용하며 송신기와 수신기를 무려 35 km 격리시켜야 했다. 이들 레이더는 불편하여 사용하지 못하고 동부지역으로 배치하였고, 그 후 트럭 탑재형 RUS-2 펄스 레이더를 개발하여 150 km 정도 탐지할 수 있었다. 독일군은 러시아 레이더 개발을 저지하기 위해 주요 러시아 레이더 개발 연구소를 집중 공습하여 치명적인 손상을 입혀 그 후 개발이 매우 축소되었다.

8-5 이태리 레이더 개발

이태리는 1941년 영국 해군의 야간 공습으로 해군이 치명적인 패전을 하기 전까지 레이더의 중요성을 알지 못했다. 영국군은 야간에 레이더를 이용하여 이태리 함대를 발견하여 포격하였다. 그 이후 이태리는 200 MHz Owl 함정용 레이더를 양산하여 이태리 함정에 설치하였다. 1943년에 영국과 미국의 연합군에 의해 침공받은 후 레이더 개발은 중단되었다.

8-6 프랑스 레이더 개발

1930년대 Bistatic CW 레이더를 처음으로 연구하여 다른 나라보다 성능이 우수한 레이더를 전쟁 초기에 배치하였다. 이 기술은 Z-패턴의 삼각 울타리를 만들어서 항공기 표적의 방향과 속도, 고도를 측정하였다. 1930년대 중반에 프랑스는 CW 장애물 탐지 레이더에 대한 대중의 공감대를 받아 해안선에 설치하였다. 1939년에 50 MHz 펄스 레이더 개발에 착수하였지만 1940년 독일군에 의한 프랑스 점령으로 사실상 레이더 개발은 중단되었다.

8-7 일본의 레이더 개발

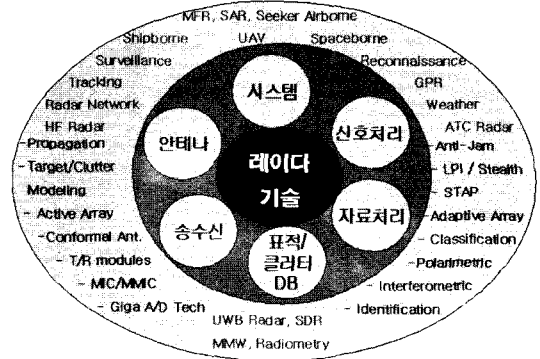
일본은 영국보다 먼저 마이크로웨이브 마그네트론을 개발하였다. 그러나 이 기술을 연합군 수준의 레이더 개발에 활용하지 못했다. 일본은 1936년에 Bistatic 레이더를 개발하였고, 전쟁 중에 자국의 대공 방어로 배치하였다. 일본의 펄스 레이더는 다른 국가에 비해 훨씬 나중에 독일이 영국에 VHF 펄스 레이더 기술을 공개한 이후 1941년에 착수하였다. 일본은 비록 마이크로웨이브 마그네트론 기술을 일찍 개발하였지만 민간 과학기술자의 기술 관심보다 군사 우위의 비밀 통제와 재료 부족 등으로 레이더에 적용하는데 실패하였다.

IX. 세계대전 이후 현대의 레이더

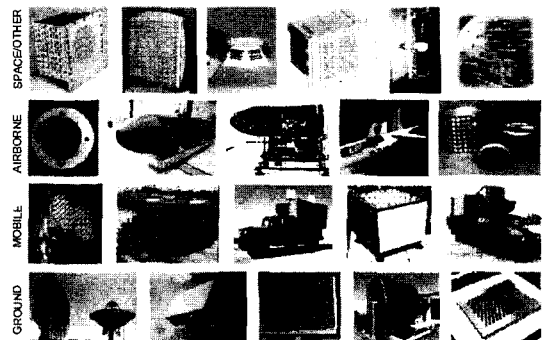
제2차 세계대전 동안에 레이더 시스템 기술은 급속히 성장하였지만 레이더 성능은 제대로 완성되지 않았다. 그 2차 대전 이후 미국의 MIT Radiation Lab은 대표적으로 레이더 기술 개발을 정착시켰으나 사실상 현대적인 레이더는 엄청난 투자와 노력 끝에 근년에야 이루어지게 되었다. 이론적인 기술은 일찍이 발달하였으나 관련기술 소자 기술들의 발전은 지연되었다. 최근에 레이더 기술은 무한한 가능성을 가지고 첨단기술들과 접목하면서 급속히 발전하면서 전자파 기술의 원천 기술 분야로 성장하여 관련 산업 기술에 많은 영향을 주고 있다.

- MTI(Moving Target Indicator) 펄스 레이더에서 도플러 기술의 적용으로 지상 클러터로부터 이동 비행 표적을 완벽하게 분리시킬 수 있었다. 또한 고출력 안정 증폭기로서 클라이스트론, 진행파관, 반도체 트랜지스터 등의 개발로 마그네트론보다 더 큰 출력으로 보다 정교한 파형 발생과 도플러 효과를 적용 가능하여 레이더 성능을 한 단계 높였다. 펄스 압축 기술 개발로 넓은 펄스 폭으로 높은 에너지를 사용할 수 있으며 동시에 좁은 펄스 폭으로 높은 해상도를 유지하게 하였다. 고정밀 각도 추적 모노펄스 레이더 기술을 개발하였고, 위상 배열 안테나 기술을 이용하여 전자적으로 빔을 고속으로 조향할 수 있도록 하였다. 위상 배열 기술은 적응 간섭 제거와 같은 ECCM 기술을 적용할 수 있을 뿐만 아니라 다중 표적 탐지와 추적을 가능하게 하였다. 특히 1970년대 이후에는 디지털 컴퓨터와 디지털 신호처리 기술 개발로 레이더 신호처리에 획기적인 성능 발전을 가져왔다. 항공기 탐재 영상 레이더(SAR) 기술은 1950년대 개발되었지만 디지털 고속처리 기술로 지상에 대한 고해상도의 레이더 영상지도를 만들 수 있게 되었다. 또한 도플러 기술을 적용하여 항공 탐재 MTI 펄스 도플러 레이더 기술을 개발하여 강한 지상 클러터 속에 묻힌 표적을 탐지할 수

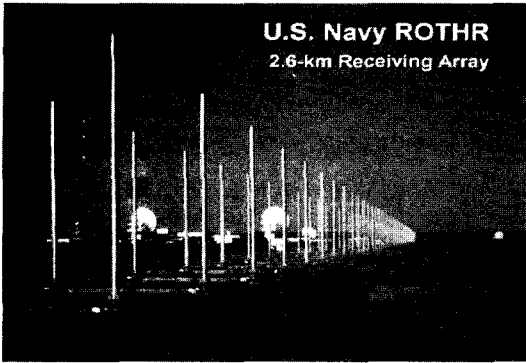
있게 되었다. 위상 배열 기술을 적용한 레이더로서 AN/SPY-1 다기능 함정 전술 레이더, AN/MPQ-53 페트리어트 대공방어 레이더, AN/FPS-108 Cobra Dane 장거리 레이더, AN/FPS-115 Pave Paws 반도체 조기 정보 레이더, MIR 다중 표적 계측 레이더, MOTR 다중 표적 추적 레이더 등이 있다. [그림 7]과 같이 위상 배열 레이더 기술은 지상, 해상, 이동, 공중, 위성 등의 다양한 레이더 플랫폼에 필수적으로 적용되고 있으며, 최신 레이더 기술발전 추세는 [그림 8]과 같다^{[5],[6]}. 대표적인 최신 레이더로서 지평선 너머 초장거리 ROTH 레이더[그림 9], 대륙간 탄도 미사일 조기 경보 레이더[그림 10], 해상 함정용 AEGIS 레이더[그림 11],



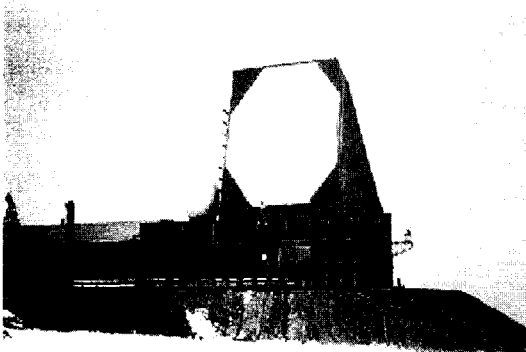
[그림 7] 최신 레이더 기술과 응용



[그림 8] Phase array technology and applications.



[그림 9] Relocatable over the horizon radar(ROTHR).

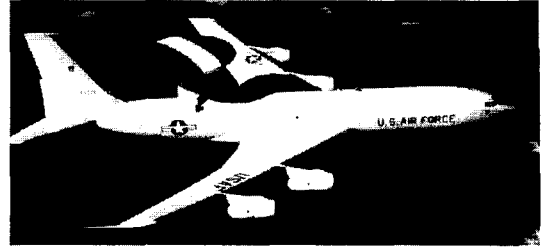


[그림 10] Ballistic missile early warning system(BM-EWS).

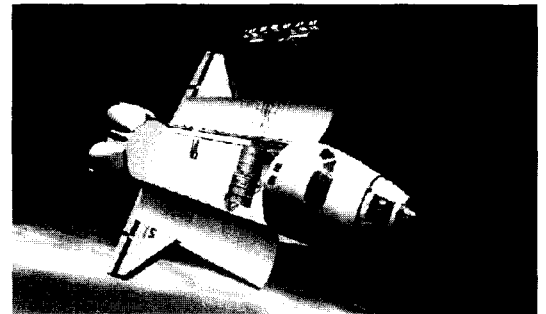


[그림 11] U.S. Navy AEGIS.

항공기 조기경보 통제기 AWACS 레이더[그림 12],



[그림 12] Airborne warning and control system(AW-ACS).



[그림 13] SRTM - space shuttle SAR interferometry.

우주 왕복선 탑재 SRTM 임무의 인터페로메트리 SAR 레이더[그림 13] 등이 있다. ECM 전자전과의 경쟁은 레이더 기술을 더욱 고도로 발전시키고 있으며, 스텔스 기술을 적용한 비행체의 탐지는 더욱 레이더의 표적탐지를 더욱 어렵게 만들고 있다. 수평선 넘어 탐지할 수 있는 초장거리 레이더와 우주 행성 탐사 레이더 개발, 그리고 위성 탑재 레이더(SAR) 개발로 이제 전 지구와 혹성까지 레이더 빔이 미치지 않은 곳이 없게 되었다.

X. 결 론

본 논문에서 Hülsmeyer의 초기 레이더 발명 과정에서 접근 방법과 시도와 역경의 면모를 살펴보았다. Hülsmeyer가 1903년 11월에 시도한 첫 번째 특허는 레이더 기술과 직접 관련되어 있지 않았으나,

1904년 4월 30일에 그의 2번째 시도는 성공적이었다. 1904년 6월 9일 로테르담에서의 시연에서 거리를 측정하는 것에 대한 필요성이 제기되었으며 그해 11월에 그의 장치와 금속 물체 표적 사이의 거리를 측정하는 특허를 출원했다. 궁극적으로 Hülsme-
yer가 레이다 개념을 상업화하는데 실패하였지만 그 장애물은 결국 레이다 장애물이 아니라 법적인 장애물이었다. 이 특허들은 나중에 Ferdinand Braun과 Marconi의 소유가 되었다.

결론적으로 Hülsmeyer가 1904년에 세계 최초로 레이다의 기본 원리를 서술했다는 사실이 중요하다. 비록 Heinrich Hertz는 1886년~1888년 Karlsruhe에서 전도체 반사현상을 이용하여 최초로 전자파의 존재에 대한 과학적인 실험을 하였지만 “Grand Man”은 결코 그의 발견을 특허 출원하는 것을 고려하지 않았다는 점이 크게 다른 점이라 하겠다. 그 이후 두 번의 세계대전을 치루면서 레이다의 필요성이 크게 인식되었고 이제 군사 전략적으로 레이다는 필수 불가결한 수단이 되었다. 현대의 레이다는 근년에 디지털 기술과 위성 배열 기술이 접목되면서 기술 선진국을 중심으로 급속한 기술 발전을 가져왔다. 오늘날 치열한 세계 경제 패권 전쟁이 계속되는 이 시점에도 기술 선진국들은 과거의 기술역경을 교훈삼아 더욱 많은 투자와 국가적 기술보안으로 세계 군사, 항공, 우주 기술 강국의 자리를 지키기 위해 끝없이 노력하고 있다.

참 고 문 헌

[1] Arthur O Bauer, "Hülsmeyer's early radar commitments", *Proceedings of IEE 2004 International Radar Conference*, Toulouse, France, Oct. 2004.
[2] Das Telemobiloskop von Christian Hülsmeyer, Dü-

sseldorf. Deutsche Patentschrift Nr. 165546, 30.40., 1904.

[3] Jean-Marie Colin, "Radar innovation and proofs from C. Hülsmeyer", *Proceedings of IEE 2004 International Radar Conference*, Toulouse, France, Oct. 2004.
[4] Merrill Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 3rd. 2001.
[5] 광영길, "국가 레이다 전략기술 개발과 인력양성", 2003 National Radar Workshop 발표집, 한국전자과학회 레이다연구회, 2003년 10월 2일.
[6] 광영길, "Radar Fundamental", 2004 National Radar Tutorial 발표집, 한국전자과학회 레이다연구회, 2004년 7월 22-23일.

≡ 필자소개 ≡

광 영 길



1976년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1981년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

1987년 6월: 미국 오하이오 대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1976년 3월~2001년 3월: 국방과학연구소 책임연구원, 연구실장

1997년 3월~1999년 2월: 영국 Matra Marconi Space, 위성 SAR Program Manager

2001년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 정보통신공학부 교수

2001년 7월~현재: 한국항공대학교 부설 항공전자연구소 소장

2002년 4월~현재: 한국전자과학회 레이다 연구회 위원장

[주 관심분야] Radar 시스템 설계, 레이다 신호처리, 적응배열, SAR 시스템 및 SAR 신호처리 항공전자 및 항공통신, CNS/ATM, DSP 레이다 응용