

## 신뢰성 예측 방법론 217Plus<sup>TM</sup>의 출현 과정에 대한 고찰

# An Overview on the Emergence of the Reliability Prediction Methodology 217Plus<sup>TM</sup>

전 태 보\*  
Jeon, Tae-Bo

### Abstract

Reliability plays a pivotal role in products safety and quality. DoD RIAC recently developed a new reliability prediction methodology, 217Plus<sup>TM</sup>, for electronic systems. It officially replaces the well-known MIL-HDBK-217 and is expected to be widely used. Although theoretic study about 217Plus<sup>TM</sup> and its application towards field systems seem to be attractive, it is also desirable to understand the general background of its development. In this paper, we performed a historical review of the arenas related to reliability prediction. Due to the vast of materials, our scope was limited to the development of 217-Plus<sup>TM</sup>. We first reviewed Rome Laboratory and RIAC. We then explained the development course of reliability methods, MIL-HDBK-217, PRISM, and 217-Plus. This review will form not only a good understanding of the methodology but a basis for future study. We conclude this study with provision of future research areas.

키워드 : 신뢰도예측, MIL-HDBK-217, PRISM, 217Plus, Rome Laboratory, RAC/RIAC

Keywords : reliability prediction, MIL-HDBK-217, PRISM, 217Plus, Rome Laboratory, RAC/RIAC

### 1. 서론

제품 및 시스템의 신뢰성은 안전성 제고 및 고객에 양질의 서비스 제고라는 점에서 근래 중요성이 더해가고 있으며, 이 중 전기, 전자 시스템에 대한 신뢰성 예측은 이 분야에 있어 중추적인 역할을 해오고 있다. 오랜 기간 전기, 전자 시스템 신뢰성 연구를 통하여 많은 신뢰성 모형들이 개발되어 왔으며 대표적으로 MIL-HDBK-217[1]가 이 분야에 가장 오랫동안 핵심 역할을 해왔다. 2000년에는 PRISM<sup>®</sup>[2]이 개발, 소프트웨어로 출시되었으며 최근에는 그를 확장, 개정한 버전인 217Plus<sup>TM</sup>[3,4] (이하 217-Plus로 표기)가 출시되어 보다 개선된 신뢰성 예측 모형으로 자리매김 하고 있으며 향후 이를 통한 신뢰성 예측이 다각도로 진행될

전망이다. 217-Plus 방법론에 대한 이론적 차원의 분석과 이의 실제 적용을 통한 신뢰성 평가 등이 중요하나, 이의 발전과정에 대한 고찰을 바탕으로 보다 깊은 이해와 신뢰를 확립함도 좋은 시도이다.

본 연구에서는 다양한 문헌들을 통하여 전기, 전자 시스템의 신뢰도 예측 방법론인 217-Plus의 출현과정에 대하여 고찰한다. 특별히, 일반적인 신뢰성 분야 보다는 전기, 전자 부품 및 시스템 신뢰성 예측 방법론들인 MIL-HDBK-217, PRISM, 그리고 217-Plus를 중심으로 고찰한다. 먼저, 제 2절에서는 신뢰성 관련 연구수행 주체인 DoD내 Rome Laboratory와 RIAC (Reliability Information Analysis Center)에 대하여 고찰한다. 이들의 태동과 신뢰성 측면의 업무와 관련한 변천 과정에 대하여 설명한다. 제 3절에서는 신뢰성 예측 모형의 발전에 대하여 고찰한다. 이 분야 최초의 신뢰성 연구로부터 MIL-HDBK-217, PRISM, 그리고

\* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

217-Plus에 이르기까지의 과정과 주요 특징들을 살핀다. 이상의 고찰을 근간으로 향후 기대되는 연구에 대한 제언을 한다.

## 2. Rome Laboratory와 RAC/RIAC

2차 대전 중인 1941-1942년 미국 뉴욕 주 Rome에 공군기지가 건설되었고, 몇 차례 이름 변경 과정을 통하여 1948년 공식적으로 "Griffiss Air Force Base"로 명명되었다. 이 기지의 주요 임무는 미국, 유럽, 그리고 아프리카 작전지 부대들을 위한 장비의 저장, 유지(보수), 선적 등이었다. 전쟁 중 Rome 지역에 Norden bombsight가 설치되었으며 또한 큰 비행기엔진 등이 채생되고 시험되었다. 전후 빌딩들은 사무실과 실험실 등으로 변경되었으나, 1995년까지 공군기지로서의 기간 동안 여러 주요 부대들의 고향이었다.

### 2.1 Rome Laboratory

Rome Laboratory는 DoD내 전자 부품/시스템 신뢰성 연구의 중심 역할을 수행해 온 조직이다. 1차 대전 중 미 육군 통신대에 의해 제기된 공군의 특정 전자공학의 필요성에 부응하여 순수 개발 업무를 위해 설립된 Radio Laboratory를 효시로 하며, 후에 추가로 설립된 Watson Laboratory (Eatontown Signal Laboratory) 및 기존 펜실바니아 Middletown 공군 조직 등의 통합을 통하여 출발되었다.

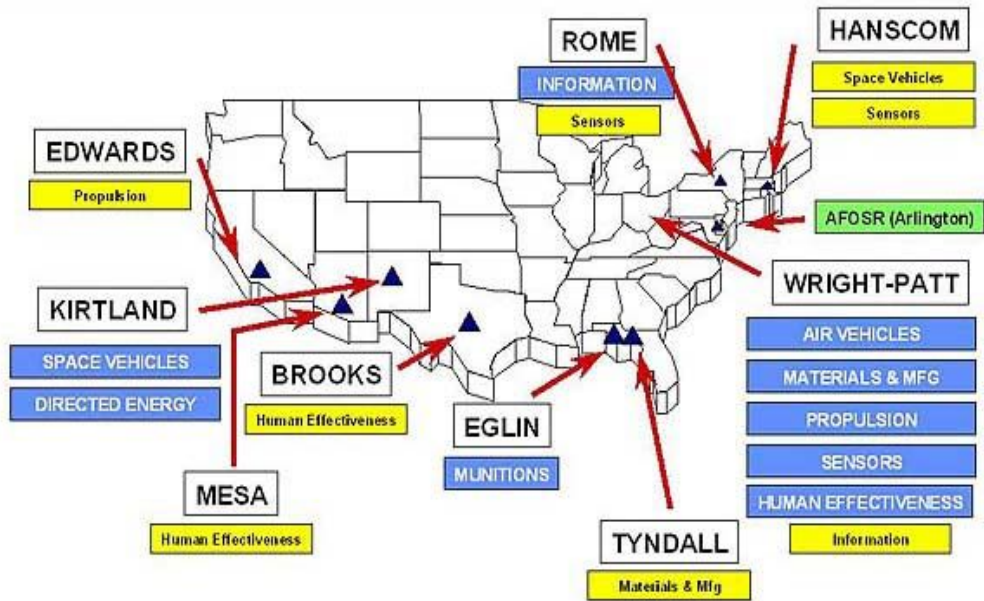
40년대 말과 50년대 초 냉전과 더불어 군사연구 등이 국가 최우선으로 고려되고, 특히 첨단 기술 등이 주요 전략적 요소로 부각되는 가운데 이러한 기술을 포함하는 연구 등이 촉진되었다. 1947년 미 공군의 창립과 함께 Griffiss 지역에 공군의 전자공학 연구 및 개발 본부 설립을 목적으로 Watson Laboratory 및 기존의 공군 조직인 펜실바니아 Middletown의 3135th Electronic Squadron을 Griffiss 기지로 이동시키기 위한 노력이 시작된다. 본격적인 Rome Laboratory의 개발은 1948년 펜실바니아 Middletown 인원들과 Watson Laboratory의 몇몇 적은 규모의 팀들이 Griffiss 기지로 옮겨짐으로 시작되었다. 그러나, 공식적인 Watson Laboratory의 이동은 의회 승인이 나지 않아 실행되지 못하였다. 1949년 DoD에서는 전자 개발센터가 Griffiss 기지에 계획되었으며, 미 공군의 연구 및 개발을 감독할 별도의 지휘부가 제안되었다. 상원군사위원회에서 Griffiss의 기지 공식화를 추진하였으며, 1950년 9월 26일 트루만 대통령은 Air Force Electronics Center의 설립을 승인하였다. 1950년 11부터 1951년 2월 Watson 인원들의 Griffiss 기지로의 이동이 완료되고, 1951년 6월

12일 공식적으로 RADC (Rome Air Development Center)가 지휘부인 ARDC (Air Research and Development Command) 산하 9개 센터들 중 하나로 설립되었다[5].

1960년대 초 미 공군에서 연구 부서를 7개로 축소하는 개혁을 실시하며 RADC를 Air Force Electromagnetic Laboratory로 변경하고자 하였으나 실현되지 못하였다. 1960년대 주요 초점이 지식(intelligence)의 수집과 수집된 정보(information) 흐름의 자동화로 변화하였으며, 필름 처리, 슈퍼 컴퓨터, 다양한 컴퓨터 메모리 시스템 등을 포함하는 여러 연구를 수행하였다. 또한 이 기간 위성을 통한 최초의 무선신호 전신을 달성하고, 레이더가 조기 경보, 이동 목표물 감지를 통한 공군 방위체제로서 정착되어 가며 RADC가 이의 중심 역할을 담당한다. 이후 고주파 등 무선 통신 분야의 발전에 기여한다. 주된 연구 초점은 전자공학 및 관련 기술의 적용이었으나 수질 측정이나 지도 오염 측정을 위한 색의 분석 등과 같이 군 영역을 벗어나는 연구에 관여하기도 하였다[5,6].

1976년 미 공군은 메사추세츠 주 Hanscom 공군기지에 RADC의 파견소격인 "전자기술분소(Deputy of Electronic Technology)"를 설립한다. 이는 후의 Rome Laboratory's Directorates로 변화하게되며 당시의 증대되어가는 군의 전자통신에 대한 의존 및 국가 방위의 핵심 부분과 직결되는 C3I (Command, Control, Communications, and Intelligence)에 대한 미 공군내 중심이 되며, 미국 뿐 아니라 전 세계적인 C3I 확산에 큰 기여를 한다.

1980년대 후반 독일 통일, 유럽 공산주의 붕괴, 중국의 자유경제 체제 도입 등으로 인한 변화와 함께 냉전의 종료 정후로 RADC의 변화도 초래되었다. 즉, 연구 및 개발상의 역할 변경 및 뉴욕 중부지역 경제에 있어 Rome Laboratory (RADC)의 중요성 증대이었다. 1990년 12월 14일 연구개발 시설과 주변 사회 사이의 오랜 유대를 인식하여 미 공군에서는 14개의 laboratory들과 연구센터들을 Phillips, Armstrong, Wright-Patterson, 그리고 Rome 등 4개의 "super" laboratory들로 재정립하며, RADC를 Rome Laboratory로 개명하였다. Rome Laboratory는 연구 개발상의 역할 변경으로 특정 분야 보다는 일반연구 수행을 담당하였으며, 주된 연구 분야로 통신, 레이더, 지식(intelligence), 지휘 및 통제 등, 그리고 민간 컴퓨터의 보급과 더불어 하드웨어 보다는 소프트웨어 등에 초점을 두었다. 경제적 측면에서는 1990년대 초까지 Rome Laboratory로부터 11개 회사들이 출현하였으며 Rome Laboratory가 뉴욕의 회사들과 맺은 계약은 \$1억 3,160만에 이르렀다. 뉴욕 주지사는 Rome Laboratory를 "뉴욕 중부에 최첨단 기술과 고도의



<그림 1> AFRL Directorates (출처: Wikipedia, the free encyclopedia)

숙련된 직업을 가져오는 세계적인 시설”이라고 묘사하였다. 1992년 Rome Laboratory는 AFMC (Air Force Material Command)의 일부가 되며, AFMC Laboratory로서 지휘, 통제, 커뮤니케이션, 그리고 지식 시스템들에 대한 기술 연구개발을 전문으로 하였으며, 이들을 포함한 여러 다른 시스템 개발에 초점을 가졌다[5,6].

1995년 9월 30일 이후 Griffiss 공군기지는 민간과 비전투 목적으로 재건되어 Griffiss Business and Technology Park로 변경되었다. Rome Laboratory에 대해서는 여러 검토를 바탕으로 Rome 지역에 계속 존속시키는 것으로 결정되었다. 1999년 7월 23일에는 Woodstock 콘서트 페스티벌로 악명이 높기도 하였던 Griffiss 공군기지는 여러 변화에도 불구하고, 현재도 Rome Research Site의 고향으로 인식되고 있다.

1997년 10월 미 공군에서는 공군의 과학 및 기술 프로그램의 계획 및 실행을 총괄하는 AFRL(Air Force Research Laboratory)을 창설하였다. AFRL은 총 본부를 오하이오주 Wright-Patterson 공군기지에 두며 기존의 4 “super” Air Force Research Laboratory들 및 Air Force Office of Science Research를 공고히 하고자 4개의 laboratory들을 통합하고 9개의 Directorate로 개편하였다. 이들 각각은 AFRL내의 추진 참모부(Propulsion Directorate)가 되어 해당

기능 영역내 연구 활동 증진상 지도력과 공동 노력을 연계한다[7,8,9]. <그림 1>이 이들을 도시하며, 이들 중 Information Directorate가 기존의 Rome Laboratory로서 본부를 Rome에 두고 있다. 즉, Information Directorate는 AFRL의 부속 센터로서 공식명칭은 AFRL/ID(Air Force Research Laboratory/Information Directorate at the Rome Research Site)이다. AFRL/ID는 정보시대에 보다 성공적으로 대처하기 위해 정보기술을 개발하고 이를 항공, 우주, 그리고 육상 시스템에 이전시키는 일을 수행한다. 주요 초점은 정보 융합과 이용, 통신 및 네트워킹, 협업적 환경, 모형화와 시뮬레이션, 방어적 정보 전쟁, 그리고 지식 정보 시스템 기술 등을 포함한다. 데이터 획득을 위한 프로그램을 개발하고 통합하며, 데이터 저장, 가공, 그리고 융합을 통하여 더 효과적인 정보로의 변환을 추구한다. 이렇게 획득한 정보를 전달하고 제시하는 방법을 찾아 군 의사결정자로 하여금 성공적인 운영을 위해 정보의 총체적 필요 영역을 설정하도록 한다. 이와함께 1998년에는 규격 및 표준의 유지 등 그간의 전통적 신뢰성 활동들이 정부내 다른 부처들로 이관되었다. 즉, 새롭게 Information Directorate로의 변경 및 그간의 신뢰성 관련 활동을 정보관련 업무로 전향함을 의미한다. 참고로, Directorate란 미 공군의 정보 우위(dominance)를 실현하기 위해 정보시스템 과학 및 기술의 발전과

응용을 위한 센터이다.

2005년 DoD는 Rome의 Sensor Directorate를 오하이오주 Wright-Patterson 공군기지로 재배치하는 동시에 Wright-Patterson의 Information Directorate를 Rome으로 이전하여 Rome Laboratory를 재정립하는 것을 포함하는 전반적인 연구기능의 재배치를 단행한다. 이는 지역적으로 떨어져 있는 공군과 육군의 연구소 단위 조직들을 공고히 하여 기술과 기능에 있어 큰 시너지 효과가 가능하다는 측면에서 고려되었다[10].

요약하여, Rome Laboratory는 DoD의 주된 전자 부품/시스템 관련 신뢰성 연구 및 개발을 위한 조직으로서 출발한 이래 현재까지 정보기술에 관한 포괄적인 연구 및 개발 역할을 수행중이다.

## 2.2 R(I)AC (Reliability (Information) Analysis Center)

1961년 RADC는 전자부품의 신뢰성에 대한 정보의 수집, 분석, 그리고 분배를 위하여 전자 부품 데이터의 저장을 시작하며, 이는 머지않아 DoD의 RAC (Reliability Analysis Center)로서 자리잡게 된다. 1968년 설립된 RAC는 1971년 DoD의 IAC (Information Analysis Center)들 중 하나가 되었으며, 초기 5명의 직원으로 출발하였다. IAC란 국가 방위에 중요한 특정 전문분야의 정보업무 (과학적, 기술적 정보를 수집, 분석, 적용)를 위해 설립된 공식적인 조직이다. 군 관련 부서 및 민간 기업의 프로젝트나 프로그램 관리자는 IAC에서 제공하는 특정 도구나 기법으로 관련 시스템 및 제품들에 적용하며 효과적으로 업무를 수행하거나 예산상의 절감을 가능하게 함이다. RAC를 포함한 IAC들은 DoD내 과학적, 기술적 정보의 수집 및 전파를 위한 중심 부서인 DTIC(Defense Technical Information Center)에 의해 관리되고 지원을 받으며, 연구자, 공학도, 과학자, 그리고 프로그램 매니저들을 돕는다. 이중, RAC의 주요 임무는 제품이나 시스템의 수명주기 모든 단계를 통하여 비용-효과적(cost-effective)인 RMQ (reliability, maintainability, and quality)의 운영을 촉진하며, DoD, 다른 정부 기관들, 산업체 등에게 RMQ와 관련한 자원(resources)과 서비스를 제공한다. 즉, RMQ와 관련하여

- 1) 장치(device)와 시스템의 신뢰성 데이터 및 정보의 수집
- 2) 원(raw) 데이터를 사용 가능한 정보로 정제하기 위한 분석적 서비스 제공
- 3) 이 정보를 DoD와 산업체에 제공 등의 업무를 수행

등이며, 추가로 신뢰성 관련 컨설팅과 연구 등도 포함한다[11].

RAC의 실제적인 프로그램 운영은 군 자체가 아닌 외부 기관에 의뢰하였으며, 계약에 의하여 IITRI (IIT Research Institute)가 운영 주체가 되었다. IITRI는 1936년 설립된 미국 내 가장 큰 비영리 연구 개발원 중 하나로 시카고에 본부를 두었으며 IIT (Illinois Institute of Technology)와 연구를 수행하였다. 따라서, RAC는 초기 시카고의 IITRI 시설에 위치하였다. 이후 1972년 뉴욕의 Griffiss 공군기지로 옮겼고, 1988년에는 Rome내 다른 지역으로 이동하였으며 이 무렵 직원이 50여 명으로 증가되었다. 또한 RAC로 하여금 R&M (reliability and maintenance) 커뮤니티에 최적으로 공헌하기 위한 방법을 조언하기 위해 TAG (Technical Advisory Group)가 결성되었으며, 이는 후에 Steering Committee로 불리우게 된다.

RAC의 임무와 관련하여 SIDAC (Supportability Information and Decision Analysis Center)가 중요하게 관련된다. SIDAC는 RAC와는 별도로 Battelle Technical Services Organization 주도의 팀과 (5년) 계약에 의해 운영되던 미 공군 IAC 중 하나로 초기 이름은 Supportability Investment and Decision Analysis 이었다. SIDAC는 무기 시스템 수명주기상의 모든 단계에 있어 지원성(supportability)을 증대시키고자 노력한다. 지원성에는 동작수명기간 동안 시스템을 지원하는 데 필요한 전반적인 기반구조, 자원, 그리고 투자 등이 고려되며, SIDAC의 주된 임무는 무기 체계의 지원성과 관련한 분석방법, 모형, 기법, 그리고 도움이 될 만한 업무들을 획득하고 개선하며 적용함이다. 그러나, SIDAC는 1997년 12월 이래 비 활동 상태였으며 동시에 RAC와 기술적 관점이 매우 밀접함으로 1998년 8월 미 공군 Material Command는 IITRI와 SIDAC의 운영 계약을 체결한다. 이후 SIDAC는 고유 이름은 유지하되 RAC로부터의 전문지식과 정보 수혜를 받으며 이를 통한 예산상의 혜택을 함께 가진다. 이제 RAC는 SIDAC의 업무를 계속 수행하고, SIDAC가 이루어온 성장과 추진력을 계속 유지하는 추가적인 목적을 소유하게 된다. 이렇게 2년간 SIDAC가 RAC의 일부로서 기능을 수행하던 중 2000년 5월 RAC에 완전히 통합되었고 결과적으로 RAC의 영역이 지원성(supportability)까지 확대되었다. 결론적으로, RAC의 주 임무는 1998년 이래 모든 RMQS (reliability, maintainability, quality, and supportability) 영역에 관여하게 되었다[12-15].

초기에는 RAC의 임무인 RMQ에 지원성의 추가 통합에 대한 이점이 명확치 않았다. 그러나, 지원성에 대한 특정 책임을 설정하기 전 이미 RAC는 이의 중요성 및 자산 획득 예산의 삭감 등을 인식하고 있었다. 수년간 현재의 무기체제와 관련한 운영유지 비용이 방위비의 60-70% 정도 차지

했으므로, 새로운 시스템의 개발과 획득을 위한 적절한 자금의 조달은 과제이었다. 이는 기존 시스템의 운영 및 유지비용 절감을 통한 신 시스템을 위한 추가 자금 확보 가능성을 의미하며, RAC는 이를 위한 3가지 조처에 관심을 가졌다. 첫째는, “계획수명의 연장”으로 잘 정의된 절차와 관련 의사결정 도구를 통하여 시스템 운영 유지비용 및 효율성을 평가하며 수명 확장이 필요한 시점을 결정할 수 있다. 둘째는, 지원기반 합리화, 신기술 도입, 그리고 보다 효율적인 관리 시스템 등과 같은 “운영 및 유지 절차의 개선”을 통하여 운영 및 유지비용을 줄이는 것이다. 마지막으로, 새로운 시스템 개발 또는 초기의 과학 및 기술 측면 노력 등에 있어서 감당성(affordability)이 성공의 중요한 판단 기준이 되어왔다. 지원 개념, 물류 기반구조, 그리고 여타 지원성 고려들 모두 효율성과 비용에 영향을 미친다. RMQ 역시 시스템 고유의 지원성 뿐만 아니라 시스템 효율성과 수명주기 비용에 영향을 미친다. 결론적으로, RAC와 SIDAC의 통합은 매우 적절하며, RAC로 하여금 군 업무에 필요한 기술적인 지원성 제공을 지속함에 도움을 준다 [13].

2002년 12월 20일 IITRI의 1,700명 종업원들이 IIT 자산 대부분을 매입하여, 새로운 100% 종업원 소유의 회사인 AST (Alion Science and Technology)를 설립하였다. 이후 AST가 RAC의 주된 프로그램 운영자로서 주기적으로 계약을 갱신하였다. AST는 DoD, 정부, 산업체 고객 등의 고객들에게 계속 기술서비스를 제공하며, 그간 IITRI가 운영하던 RAC 이외의 일부 다른 IAC들도 운영하였다.

2005년 6월 RAC는 DTIC에 의해 관리되는 여타 IAC 프로그램과 더 긴밀성을 갖도록 37년간 유지되던 명칭을 RIAC(Reliability Information Analysis Center)로 변경하였다[16]. 동시에 6월 21일 새로운 RIAC 운영자로서 Wyle Laboratory팀과 계약이 체결되며 이와 더불어 그간 모든 데이터, 정보, 업무 등이 RIAC로 이관된다. RIAC를 새로이 운영할 팀은 주 계약자인 Wyle Laboratory와 Quanterion Solution, University of Maryland, Pennstate University, 그리고 SUNYIT 등으로 구성된다. DoD는 데이터 수집/분석과 모형화를 위한 자금 지원을 계속할 것임을 약속했다. 명칭에 새로이 추가된 I는 “information”을 의미하나 미래 지향적인 의미의 “innovation”을 뜻하기도 한다. 이제, RIAC는 미 국방부내 11개 IAC들 중 하나로 DoD내에서 RMQSI (reliability, maintainability, quality, supportability, and interoperability)와 관련한 전문적이고 광범위한 경험, 데이터, 그리고 정보 등을 유지하고 있다. 참고로, 새로운 RIAC 운영자인 Wyle팀을 간단히 소개한다.

Wyle Laboratories - 주 계약자이며 신뢰성과 환경적 테스트 서비스의 제공자이다. 1949년 창사 이래 정부와 기업들에게 연구, 시험, 공학, 그리고 기술 측면의 포괄적인 서비스를 전문으로 제공하는 그룹으로, 현재는 미국 전역 30여개 지역에 지소(group)를 가지고 있으며 이들 중 알라바마주 Huntsville Group이 RIAC의 주 계약 주체이다. Wyle의 종업원은 3,000여명에 이르며, 항공우주 그룹, 생명과학 그룹, 테스트, 공학, 연구 그룹 등을 포함한다.

Quanterion Solutions - 주 협력업체로서 과거 RAC 시절의 신뢰성 전문가들을 주축으로하는 작은 회사이다. 대부분의 RIAC 핵심 운영에 대한 업무를 담당하며, 신뢰성 예측 모형 개발 주역들인 MacDiavmid, Denson, Mahar, Nicholls, Morris 등이 현재 이 회사 소속이다.

University of Maryland CRE (Center for Reliability Engineering) - 1984년 신뢰성 프로그램을 시작한 이래, 1985년 CRE를 설립하였다. 신뢰성 공학의 석사 및 박사과정 프로그램과 함께 약 150명의 학생을 가지고 있는 미국 내 시스템 및 인간 신뢰성과 관련한 R&M에 대한 공식적 교육 및 연구센터이다.

Penn State University Applied Research Laboratory - 기계적 신뢰성, CBM (condition-based maintenance), 예지 (prognostics), 그리고 총체적 자산관리 등에 초점을 둔 응용 연구조직으로 미 해군과 오랫동안 연구관계를 정립하여 왔다.

SUNYIT (The State University of New York Institute of Technology) - RIAC 프로그램 운영을 주관하고, SUNY 내 64 캠퍼스 중 다른 신뢰성 관련 부서 및 인력들에게 통로 역할 뿐 아니라 센터에 정보기술과 지식관리 능력을 제공

RIAC는 RMQSI와 관련한 가장 최근의 경향을 포함하기 위한 작업을 진행하였다. 이들 중 대표적인 것으로 “PRISMPlus”와 “The System Reliability Toolkit”을 들 수 있다. 이중 PRISMPlus는 이전 RAC하에서 개발한 PRISM®의 확장 및 개정 버전인 217-Plus를 말한다. 이에 대하여는 다음 절에서 논하기로 한다. 또한 Reliability Toolkit 시리즈는 R(I)AC의 대표적 출판물로서 그간 주로 하드웨어 신뢰성에 초점을 두었으며 소프트웨어 신뢰성이나 인간 인자/요인(factor)에 대한 고려가 없었다. 이제 소프트웨어 및 인간-기계간의 관련성 등에 대한 이해 및 시스템에의 영향에 관심을 두며, 새로운 출판물인

“The System Reliability Toolkit”을 통하여 시스템의 모든 면에서 사용자 측면의 기술적 안내를 제공하고자 한다.

RIAC는 R&M 기술 훈련 및 전파를 위해 DoD로부터 지원을 받는 센터로서 프로그램 관리자들에게 기술지원, 컨설팅, 교육 및 훈련, 출판 및 도구, 최근 뉴스와 기술, 주제 전문가, 데이터, 라이브리 등 다양한 서비스를 제공 등 이 분야의 중추적 역할을 수행해오고 있다. 2007년 11월 14일은 RAC의 창립 40주년 되는 날로서 그간의 업적 및 새로이 RIAC로의 탄생을 축하하기 위해 SUNYIT에서 축하 기념식 및 오찬이 진행되었다. 이 행사는 IAC의 40주년 기념행사도 겸하였다[17].

### 3. 신뢰성 연구 및 모형의 발전

#### 3.1 MIL-HDBK-217

2차 대전중 전자장비 고장을 유발하는 진공관 등의 부품 신뢰성 제고 노력이 신뢰성 연구의 효시이며, 1952년 구성된 전자장비 신뢰성 자문위원회인 AGREE(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)가 공식적인 신뢰성 관련 조직으로서의 첫 스텝이라 하겠다. 이를 계기로 군, 민간, 학교 등의 연구소 설립 및 본격적인 신뢰성 연구가 시작되었다.

1955년 RADC에서는 Naresky가 최초로 신뢰성 공학 연구를 위한 프로그램을 창시하였으며, 신뢰성 관련 최초의 출판물인 “Reliability Factors for Ground Electronic Equipment”를 발간하였다. 1956년 Krzysiak, Coppola, Jr., 그리고 Fuchs 등 4명으로 구성된 신뢰성 그룹을 구성하였고, 이후 인원의 증가와 더불어 신뢰성과 관련한 통계적 연구를 진행하였다.

1956년 11월에는 민간 기업인 RCA가 TR-1100 “Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment”를 출간하였다. 이 문헌은 부품 고장률의 수학적 추정 모형들을 제시하였으며, 최초의 군 전자부품 고장률 관련 참고문헌으로서 RADC 기술 레포트들의 근간이 되었다. 1959년 10월에는 “RADC Reliability Notebook”의 출간되었고 이후 이에 대한 일련의 개정 작업이 수행되었다. 이는 궁극적으로 1962년 미 해군에 의해 발표된 MIL-HDBK-217인 “Reliability Prediction of Electronic Equipment”의 태동 역할을 하였다. 이는 부품 신뢰성 예측 표준으로서 자리를 매기며 여타 고장률 산출 관련 자료들을 사라지게 하였다. RADC는 연속하여 비 전자부품들의 고장률, 유지보수의 예측, 그리고 Bayesian 통계의 활용 등에 대한 참고문헌들을 출간하게 된다[18,19].

이러한 정량적 데이터와 통계 기반의 기법에 근거한 접근법의 대안으로 고장 유발에 대한 물리적 과정(physical process)이 대두되었다. 1961년 RADC는 신뢰성 물리(reliability physics)의 연구를 위한 고장요인 분석용 장비 등 시설 설치를 시작한다. 1962년에는 IITRI와 함께 신뢰성 물리에 대한 최초의 심포지움 “Physics of Failure In Electronics”을 지원하며 이는 현재 (IEEE 지원하의) 국제 신뢰성 물리 심포지움 (IRPS: International Reliability Physics Symposium)으로 불리고 있다. RADC는 점차 박막(thin film)과 monolithic microcircuits에 대한 습득 지식을 바탕으로 RADC 2867(Quality and Reliability Assurance Procedures for Monolithic Microcircuits)을 출간하며, 이는 MIL-STD-883 (군용 및 산업용 micro-circuits의 품질보증의 근간인 micro-circuits의 시험 방법과 절차), MIL-M-38510(군 자격 부품 프로그래밍의 micro-circuits에 대한 일반규격) 등 규격들의 효시가 되며, 이후 MIL-I-38535, MIL-H-38535, 그리고 MIL-STD-1772 등의 규격들을 출시한다.

1965년 12월에는 미 해군에서 MIL-HDBK-217A를 출간하였다. 이 핸드북의 특징은 monolithic integrated circuits에 있어서 사용환경, 적용, 재료, 장치, 사용전력, 아키텍처, 제조과정이나 제조업체 등에 관계없이 모든 경우 일률적으로 백만 시간당 0.4회의 단일 고장률을 적용한다는 점이다. 1970년초 MIL-HDBK-217에 대한 준비 책임이 RADC로 이전되며 1974년 MIL-HDBK-217B가 발간된다. 이 기간 MIL-HDBK-217의 개정과 더불어 신뢰성 예측에 대한 다른 노력이 진행된다. 이중 하나는 MIL-HDBK-217 모형에 대한 복잡성의 변화이고 다른 하나는 근본적으로 새로운 모형의 개발이었다. RADC와의 계약에 의해 RCA가 POF(physics of failures) 근간의 모형을 개발했으나 불행히도 기각되어 MIL-HDBK-217에 통합되지 못하였다. 복잡한 모형이 기술적으로 바람직하겠으나 사용자의 입장에서는 적용상의 복잡성, 고비용, 그리고 비 현실성 등으로 문제가 되기 때문이다.

1980년대 RADC의 계속적인 MIL-HDBK-217에 대한 개정 작업 이외에 각 기관/분야별 고유의 신뢰성 예측 모형 개발이 진행되었다. 예를들어, SAE(Society of Automotive Engineers)의 Reliability Standard Committee에서는 자동차 관련 전자 부품들에 대한 신뢰성 모형이 개발되었다. Bellcore에서는 MIL-HDBK-217의 수정을 통한 자체 신뢰성 모형인 TR-332 (현재 Telcordia의 SR-332)를 개발하였으며, VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Program에서는 IC에 대한 산업체 기술진전과 군 요구에 부합하는 목적의

신뢰성 모형을 개발하고자 하였다[19]. 1988년 RADC는 그의 가장 유명한 제품 중 하나인 Reliability Toolkit을 발간한다. 1993년 Rome Laboratory에서 이의 개정판인 Rome Laboratory Reliability Toolkit을 발간하며, 1995년에는 민수용 Reliability Toolkit을 발간한다. 이중 마지막 버전은 DoD Acquisition Reform 하에서 민수용 제품과 군 시스템들의 안내를 제공한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 1970년대 이후 보다 복잡한 micro electronic device의 출현 및 기술적 발전으로 인한 전자 부품 신뢰도 예측 정확성 향상의 고려로 MIL-HDBK-217에 대한 지속적인 개정 작업이 RADC (또는 Rome Laboratory)에서 1995년까지 FN2 (버전 F, Notice 2)까지 진행되었으며 이들은 <표 1>과 같이 요약된다. Rome Lab. 이 1995년 MIL-HDBK-217을 버전 FN2까지 개정해가는 과정에서 RADC의 Denson은 VHSIC를 포함한 13가지 모형을 개발 또는 개정하고 이를 핸드북에 통합하였다.

<표 1> MIL-HDBK-217의 발전

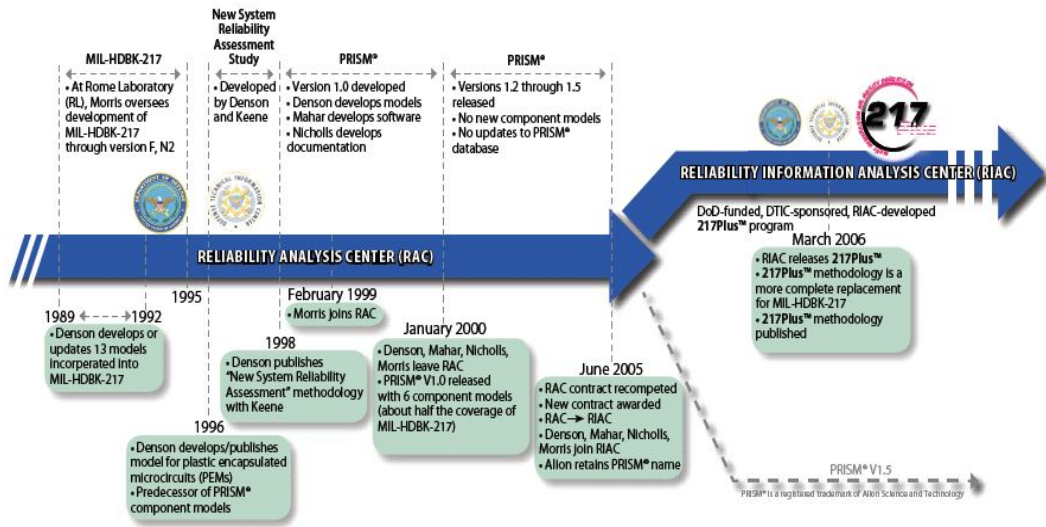
날짜	내용	주관
1965.12	MIL-HDBK-217A - 단일 고장률 모형 (0.4회/백만시간)	미 해군
1974. 7	MIL-HDBK-217B - 지수분포 기반의 고장률 모형	RADC
1979. 4	MIL-HDBK-217C	RADC
1982. 1	MIL-HDBK-217D	RADC
1987.10	MIL-HDBK-217E	RADC
1990.12. 2	MIL-HDBK-217F	RADC
1992. 7.10	MIL-HDBK-217FN1	Rome Lab.
1995. 2.28	MIL-HDBK-217FN2	Rome Lab.

이렇듯 MIL-HDBK-217은 30년간 전자장비의 신뢰성 예측의 표준으로 군과 민간 분야의 전기전자 시스템의 신뢰도 분야에 넓게 적용되어 왔다. 그러나, 1994년 6월 29일 미 국방부장관인 William Perry의 memorandum[20]을 통하여 큰 변화를 가져온다. 즉, MSSR (Military Specifications and Standard Reform)는 무기 체계(시스템)들의 획득과 변경에 있어 “수행도에 근거한 규격(performance-based specifications)”을 수용함을 선언하였다. 이는 기존의 많은 군 규격과 표준에 대한 취소나 대대적인 수정을 의미한다. MIL-HDBK-217에 대한 중요한 지적은 너무 보수적인 결과 산출, 예측의 비 정확성, 그리고 신 기술 반영의 미비 등 이었다. 당시 MIL-HDBK-217 활동을 수행/준비 중이었던 Rome Laboratory는

전면적인 방향 재설정에 부응한 1997년 미 공군내의 조직 개편으로 AFRL(Air Force Research Laboratory)에 편입되어 Information Directorate로 개명되었으며, 연구 및 개발을 위한 신뢰성 과학과 이행의 모든 활동들을 중지하고, 1998년에는 드디어 모든 규격 및 표준의 유지 등 전통적인 신뢰성 관련 업무들은 정부 내 다른 부서들로 이관되었다. 결론적으로, 신뢰성 표준과 핸드북 준비 등 과거 수행했던 업무가 전면 중단되었고, 1990년대 중반 이후 DoD 핸드북이 새로운 부품의 추가 또는 예측 모형으로서의 유지 및 보완 노력이 없는 결과로 MIL-HDBK-217이 구식 규격으로 변하게 되었다.

이 기간의 또 한가지 특징은 NIST(National Institute of Standards and Technology), Bell Northern Research, the U.S. Army, 보잉, Honeywell, Delco, 포드 등 많은 기관 연구에 의하면 기존의 모형에 수정이 필요하다는 인식이 제기되며, 이의 대안으로 POF가 대두되었다. 세계 여러 전자회사들은 전통적인 신뢰성 예측 방법들을 포기했다. 대신 고장 메카니즘, 고장모드, 그리고 고장 유발 스트레스 등에 대한 근원분석에 근거한 신뢰성 평가기법을 사용하고, 설계, 제조, 제품 동작 등과 관련한 고장의 예방, 감지, 그리고 수정에 있어 효과적임이 증명되었다. 전자 제품에 있어 POF는 고장메카니즘이 근원적인 기체, 전기, 온도, 그리고 화공공정에 의해 통제된다. 가능한 고장메카니즘을 이해함으로써 새로운 또는 기존 기술상의 잠재적 문제들이 발생되기 전 밝혀지고 해결될 수 있다. 미 육군은 기존의 신뢰성 예측에 있어 문제가 많아 MIL-HDBK-217 사용을 취소하며, 대신 Military Acquisition Handbook-179A를 개발하였다. 이는 민수 분야에 가장 잘 이용되며 POF를 포함한다.

MIL-HDBK-217 유형의 경험적 모형과 reliability physics 유형의 (고장)상황에 대한 등식 모형은 신뢰성 예측에 대한 양 극단으로서 많은 연구자들로부터 옹호되어 왔다. 불행히도 양자의 그룹들은 신뢰성 업무에서 선(good) 보다는 해(harm)를 끼친다. 전자장치 기술은 정확한 통계적 고장 데이터의 생성이나 신뢰성 모수들에 대한 handbook의 개정보다 빨리 변하며, 필드 고장 데이터는 구성품의 물리적 설질의 결과가 아닌 고장들에 의해 지배되는 경향이기 때문이다. 이는 고장 메카니즘에 대한 지식 증진 및 “미지(unknown) 현상”에 대한 통계적 모형 양자 모두 중요하다는 의미이다. 다수 연구자들의 시각은 전자 시스템의 고장이 설계문제나 특정요인(special cause)들에 지배적으로 기인한다는 것이다. 즉, 모든 필드상의 교체 가능한 units 중 불과 몇 %가 하드웨어 고장 대부분을 차지하며, 이러한 특성의 고장들은 특정



\* 출처: Handbook of 217Plus Reliability Prediction Models

<그림 2> 주요 신뢰성 관련 DoD 규격 및 방법론 변천

해결 가능한 요인들에 기인하며 이들 요인들은 설계변경을 통하여 제거할 수 있다는 시각이다. 따라서, 시스템 고장의 주도자(driver)를 명확히 고려함이 가장 적절한 해결책임을 제시한다[21,22].

### 3.2 PRISM 및 217-Plus

1996년 Denson[23]은 PEM(plastic encapsulated micro-circuits)에 대하여 새로운 모형을 제시하였다. 이는 integrated circuit plastic packaging과 관련한 부품의 새로운 신뢰성 모형 형태로서 상업용 부품의 고장률 예측상 MIL-HDBK-217의 약점을 극복하는 것이었다. 이 기간 Rome Lab.은 MIL-HDBK-217을 보완하고 잠재적 문제점을 개선하고자 하였으며, PEM 결과를 계기로 1996년 MSSR 자금을 활용하여 RAC(IITRI)의 Denson 및 Performance Technology의 Keene과 “신뢰도 평가를 위한 방법론 개발”을 위한 프로젝트 계약을 체결하였다. 1998년 이들은 “New System Reliability Assesment Methodology”[24]를 발표하였다. 이는 시스템의 신뢰성 추정에 있어 MIL-HDBK-217 등 부품 중심의 모형과 달리 시스템 수준의 평가 방법론을 채택한 접근이었다. 이 방법론의 주요 특징은 특정요인의 규명에 근거한 시스템 수준의 신뢰성 예측으로 PGF(process grading factor)와 소프트웨어 고장률 등을 포함한다는 점이다. 1998-1999년 새로운 시스템 신뢰성 평가에 대한 연구를 바탕으로 소프트웨어화 하였으며, 2000년 1월 새로운 방법론 도구인 PRISM® (V1.0)로 출시되었다[2]. 이후 2005

년까지 RAC는 PRISM® 버전 1.2에서 1.5까지 출시하였으며 이들에 있어 새로운 부품 모형의 추가는 없었다. Denson의 PEM 모형은 PRISM V1.5까지의 부품 모형(capacitor, diode, integrated circuit (monolithic only), resistor, thyristor)의 근간이 되었다

2005년 6월 RAC가 RIAC로의 명칭 변경과 함께, DoD는 Wyle Lab. 주도의 팀과 RIAC 운영 계약을 체결한다. 이듬해인 2006년 Wyle 팀의 RIAC는 DoD (또는 DTIC) 자금 지원하에 PRISM®의 차세대 버전이며(V2.0) 공식적인 MIL-HDBK-217을 대체할 예측 방법론으로 217Plus™[3]을 출시하였다. <그림 2>는 이상의 217-Plus 개발 과정과 관련한 세부 내용을 도식한다.

217Plus™의 출시로 그간의 PRISM은 V1.5로서 존재하며 PRISM 명은 계속 AST가 권리를 소유한다. 217Plus™은 PRISM 보다 더 포괄적인 12가지 부품 모형들(기존의 6 종류에 connector, inductor, optoelectric device, switch, relay, transformer 등 새로이 6 종류를 추가하고, IC는 plastic encapsulate와 hermite 등으로 확대)을 포함한다. 또 다른 특징은 PRISM은 특정 사용자 community에 의해 출발했기에 근간이 되는 데이터나 모형 식들의 상세 내용들이 일반에게 제시하지 않았던 태도를 변경 세부 내용들을 공식적으로 공개함으로써 사용자나 분석자들이 세부 모형식들을 자유롭게 검토할 수 있도록 하였다는 점이다. 동시에, DoD는 미래 217Plus™ 출시나 보완과



관련하여 계획되는 데이터 수집 및 분석, 그리고 모형화 노력 등을 계속 지원함을 약속하였다.

MIL-HDBK-217 등 전통적 모형들은 부품에 대한 고장률 모형을 중심으로 시스템 고장률을 독립 지수분포들에 근거하여 (목시적으로) 단순 합에 의해 산정한다. 217-Plus에서는 부품 수준의 12개 모형에 추가로 독립적인 시스템 모형이 존재한다. 시스템 모형은 부품들의 고장률을 근거로 하되 여러 고장요인들 (설계, 제조, 부품, 시스템 관리, 마모, 유도(induced), 전기적 과부하 등)에 대한 프로세스 등급화(process grading) 과정을 거쳐 개선한다. 최종적으로, 과거의 경험이나 필드 데이터를 이용하여 앞서 개선한 고장률에 통합해가는 Bayesian 기법을 포함하는 종합적인 방법론으로 내용 및 적용과정이 전통적 방법론에 대해 훨씬 복잡하다. 이의 세부 내용에 대하여는 참고문헌 [3,4]가 보이고 있다. 향후 217-Plus에 대한 활용이 예상되며 이 새로운 방법론에 대한 실제 적용 및 모형상의 분석 등이 요구된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전기 전자 (부품/시스템) 분야의 신뢰성 예측에 있어 중추적인 역할을 해오고 있는 MIL-HDBK-217과 근래 새로이 개발되어 향후 활용이 기대되는 217-Plus를 중심으로 그와 관련된 연구조직과 모형의 발전과정에 대하여 전반적인 내용을 고찰하였다. 오랜 기간을 통하여 발전되어 정착한 217-Plus 방법론에 대한 고찰을 통해 전반적인 배경에 이해를 도모하였다. 본 모형 및 적용상의 복잡함에 비추어 이의 실제 적용을 통한 신뢰성 평가 등이 요구되며 향후의 연구 과제이다. 특별히, 전통적인 모형들이 팩터들의 단순한 곱의 형태임에 반하여 217-Plus 모형은 여러 팩터들의 곱셈과 덧셈형태이며, 시스템 모형 또한 다양한 요인들 승수가 수반되는 복잡한 형태를 갖는다. 이론적 차원의 분석을 통하여 본 모형에 대한 이해를 다지는 것 역시 중요한 연구과제이다.

#### 참 고 문 헌

[1] MIL-HDBK-217F Notice 2, *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense, 1995.  
 [2] Dylis, D.D., PRISM: A new Approach to Reliability Prediction, *American Society for Quality Control (ASQC) Reliability Review*; Vol. 21, No. 1, 2001.

[3] *Handbook of 217Plus™ Reliability Prediction Models*, 2006, 6, RIAC, 2006.  
 [4] Nicholls, D., What is 217Plus™ and Where Did It Come From?, *IEEE*, pp. 22-27, 2007.  
 [5] <http://www.supremelaw.org/cc/gwbush/davis/Griffiss.htm>  
 [6] Rome Laboratory, [http://en.wikipedia.org/wiki/Rome\\_Laboratory](http://en.wikipedia.org/wiki/Rome_Laboratory)  
 [7] <http://pr.afri.af.mil/press/articles/afri1097.htm>  
 [8] <http://enc.daum.net/dic100/contents.do?query1=20XX764257>  
 [9] <http://www.wpafb.af.mil/afri/ri/>  
 [10] <http://www.af.mil/brac/newyork.asp#Anchor-Rome-25671>  
 [11] RAC is 35!, *RAC Journal*, 1st Qtr., pp.7, 2003.  
 [12] SIDAC, *RAC Journal*, 1998, 3rd Qtr., pp. 11-14, 1998.  
 [13] Supportability and the RAC, *RAC Journal*, 2nd Qtr., pp. 11, 2000.  
 [14] Criscimagna, N., The Reliability Analysis Center, *PM*, March-April, pp. 36-39, 2003.  
 [15] SIDAC(Supportability Investment Decision Analysis Center): <http://www.sidac.battelle.org>.  
 [16] Hyle, R., RAC Becomes RIAC in New Paradigm of Operation, *RIAC Journal*, 3rd Qtr., pp. 1-7, 2005.  
 [17] Preston MacDiarmid, RIACGrand Re-opening and 40th Anniversary of the Dod reliability Information Analysis Center, *RIAC Journal*, 4th Qtr., pp. 2-5, 2007.  
 [18] Pioneering Reliability Laboratory Addresses Information Technology, *RAC Journal*, 1st Qtr., p. 1-4, 1998.  
 [19] Denson, W., The History of Reliability Prediction, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 47, No. 3, pp. 321-328, 1998.  
 [20] Perry, W., *A New Way of Doing Business, A Memorandum*, 1994.  
 [21] Hansen, C. K., The Status of Reliability Engineering Technology, *RAC Journal*, 2nd Qtr., p. 1-5, 1998.  
 [22] Hansen, C. K., LaSala, K. P., Keene, S. and Coppola, A., The Status of Reliability Engineering Technology 1999, *RAC Journal*, 2nd Qtr., p. 1-5, 1999.  
 [23] Denson, W., Farrel, J. and Nicholls, D., *Reliable Application of Plastic*

*Encapsulated Microcircuits*, Reliability  
Analysis Center, January, 1996.

- [24] Denson, W., Keene. S., A New Reliability  
Prediction Tool, *1998 Proceedings Annual  
Reliability and Maintainability Symposium*,  
pp. 15-22, 1998.
- [25] Denson, W., Keene. S., and Caroli, J., A  
New System - Reliability Assessment  
Methodology, *1998 Proceedings Annual  
Reliability and Maintainability Symposium*,  
pp. 413-420, 1998.