



Fail-Safe 원자력발전소 - ‘미래를 위한 도전’

Joerg MOERSCH, Martin SALLMANN
Max-Aicher Engineering, Germany



Joerg MOERSCH Martin SALLMANN

조그 모어슈(Joerg MOERSCH)

Max Aicher Engineering 대표이사
(j.moersch@max-aicher.de)

- 토목공학 박사 Dr.-Ing. Civil Engineering
- 독일 콘크리트보강제철협회 회장
- ECISS TC-104 회장(보강/예비 스트레칭 스틸 유럽 표준화)
- 프랑스 Lafarge 중앙연구소 수석 프로젝트 매니저(초고강 성능 콘크리트 개발)
- RWTH Aachen 건축자재협회 수석 프로젝트 매니저(보강 콘크리트 및 보강 스틸 연구)

마틴 살만(Martin SALLMANN);

Max Aicher Group 부사장
(m.sallmann@max-aicher.de)

- 재료과학 석사 Dipl.-Ing. Material Sciences
- Arcelor Mittal 벨기에, 독일 책임자
- 독일 파이프 업체 생산 책임자(대구경 파이프 제조)
- 수석 프로젝트 매니저(M&A 실사, 플랜트 설계, 구조조정, 공급 관리, 사업 개발)

국제적으로 원자력 발전의 개발은 1945년을 기점으로 시작되었으며, <그림 1>과 같이 개발 단계별로 세대를 구분하여 표현할 수 있다.

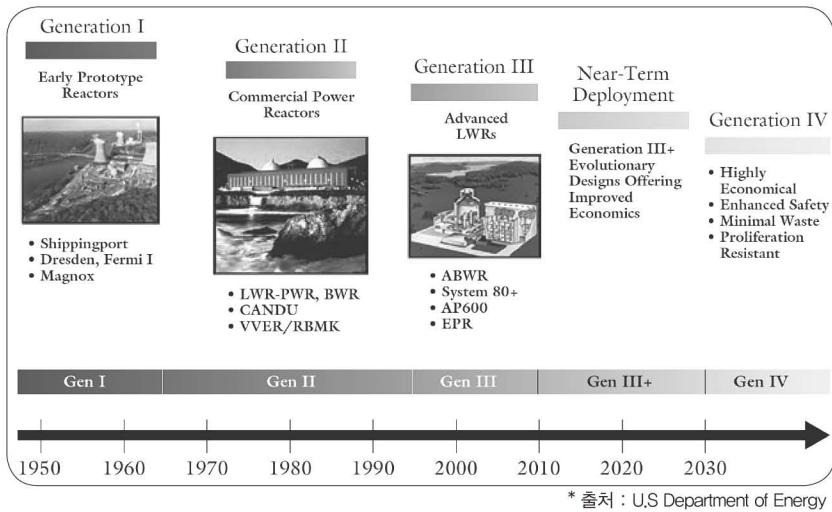
제1세대 원자력발전(1950-1960년)은 해군, 즉 군용 목적에 기반을 두었고, 제2세대 원자력발전(1960-1990년)의 특징은 미국과 프랑스의 주도로 개발되어 대규모 전력 생산을 목적으로 하였다.

제3세대(3세대 +)는 1990년 이후의 개량 원자로를 일컫는다. 제4세대 원전의 디자인(설계)은 아직 진행 중에 있으며, 2020년 이전에는 적용되지 않을 것으로 예상하고 있다[출처: WNA(세계원자력협회, World Nuclear Association)].

60년 이상의 개발 과정을 거친 원전의 건설과 개발 비용에 관한 분석(Cooper, 2014; Prognos 2009)을 살펴보면, 미국에서는 1970년대 1,000\$/kW → 1980년대 후반 2,000\$/kW → 1990년대 4,000\$/kW로 증가하였고, 프랑스의 EPR과 같은 제3세대+의 개발 비용은 완전히 새로운 디자인으로 만들어졌기 때문에 더욱 많은 비용이 들었다. 이에 반해 한국에서의 원전 건설 비용은

* Max Aicher Group

1924년에 설립된 Max Aicher Group은 콘크리트 보강 철재, 전문 철강 제조업과 원전 등 특수 플랜트 설계 전문 독일 기업이다. 4,200명 이상의 임직원, 12억 달러의 매출을 기록하고 있으며 2개의 제철소를 운영하면서 연간 150만톤 가량의 전문적인 철강 제품들을 생산하고 있다.



〈그림 1〉 원자력의 발전 과정

2,300\$/kW 이하로 평가되고 있다(출처 : Plumer, 2016). 그럼에도 불구하고 대체 에너지를 이용한 전력 생산 예상 비용과 비교할 경우(출처 : U.S Energy information Administration), 2014년을 기준으로 천연가스의 경우 1,488\$/kW, 수력 발전의 경우 1,221\$/kW, 풍력 발전의 경우 1,754\$/kW, 그리고 태양광의 경우 3,492\$/kW로 평균 건설 비용이 급속히 낮아지고 있으며, 이는 원자력산업이 받고 있는 중대한 도전이 아닐 수 없다.

또 다른 도전은 원자력발전소의 건설 기간에 있다. 특히 미국과 유럽에서의 건설 기간은 원전 세대를 거치며 크게 길어지고 있으며, 평균적으로 8년 이상의 건설 기간이 예상되고 있다. 그러나 다행하게도 한국의 경우는 대략 5년이라는 기간이 소요되고 있다.

이러한 경향에는 다양한 이유가 있을 것이다. 신기술이 도입될 때마다 기존의 학습 효과의 단절을 가져왔고, 이는 결과적으로 추가적인 비용의 증가로 이어졌다. 원자로의 안전에 대한 규제 강화로 인허가

기간이 길어지고 이에 따른 비용 또한 원전 건설의 비용을 증가시키고 있다.

유럽에서는 12개의 원자력 발전 관련 회사가 통합 규제 요건을 만들어 인허가 과정의 능률화를 꾀하고 있다. 1991년 이래, 몇몇의 원자력 노형들이 '유럽 발전 사업자 요건(European Utility Requirements-EUR)'을 만족시키는 인증을 취득하였다.

2006년에는 서유럽원자력규제자협회(Western European Nuclear Regulators Association, WENRA)에서 WENRA 가입국의 당시 가동 중이었던 원자력발전소에 대해 원자로 안전의 통합에 관한 보고서를 발표하였다. 2009년, 신형 원자로에 대한 심층 방어(defense-in-depth) 전략을 위한 안전 원칙과 기준이 제시되었고, 2013년에는 지진과 같은 자연재해들에 대한 보다 심층적인 기술 문건들을 포함하는 「Safety on new power plant designs」 보고서가 발행되었다.

하지만 최종적인 건설 허가는 건설 당사국의 규제



〈그림 2〉 스위스 Goesgen 원전의 사용후핵연료 습식저장조 보강 공사

기관을 통해 승인된다. 예를 들어 영국에서는 Office of Nuclear Regulation(ONR)이 수행하는 일반 설계 평가[Generic Design Assessment(GDA)]가 진행되며 현장과 운영자 특정 라이선스가 뒤따르게 된다. 실제 이것이 의미하는 바는 부지 별로 각기 다른 시나리오가 원자력 시설 건축물을 보호하기 위해 적용되어야만 한다는 것을 의미한다.

외적 위험 요소에 대한 안전 요구 사항은 부지 별로 다르다. 핀란드 Olkiluoto의 PGA 기준이 0.3g임에도 불구하고, 독일 Max Aicher Group의 계열사인 Max Aicher Engineering은 최근 스위스에서 0.6g의 SSE (10,000years) PGA 기준으로 원자로 구조물을 설계하여야만 하였다. 항공기 충돌의 시나리오는 민간과 군용 항공기의 유형과 특정 방호 구조에 영향

을 미치는 방식에 따라 다르게 나타난다.

이러한 원자력 안전조치에 대한 요구, 특히 원전 보호 구조물의 안전성을 극대화하는 업무를 Max Aicher Engineering은 세계적인 원자력 업체들과 함께 지속적으로 수행하고 있다.

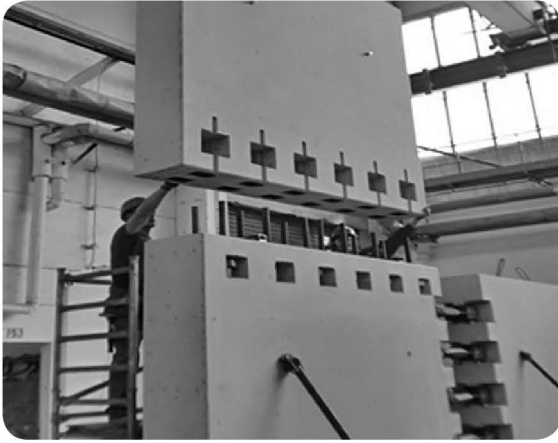
아울러 1982년부터 독일 ISAR 2(1,400 MWe) 원자력발전소 건설을 필두로 원전 건설에 기술 및 기자재 공급자로 참여하고 있으며, 특히 원자로 격납건물용 초고강도 철근(Rebars)과 설계 용역을 납품하였다.

1996년도에는 1,100Mpa 항복 강도를 가진 원전 건설용 특수 나선형 바를 개발하여 독일 건축 당국(BAM)의 허가를 취득하였다. 이 특수 나선형 바는 유럽의 여러 원전 건설에 성공적으로 적용되고 있다.

또한 스위스 Goesgen 원전의 사용후핵연료 습



〈그림 3〉 핀란드 Olkiluoto 3호기 원자로건물 보강 공사



〈그림 4〉 블록 성형 콘크리트 시스템과 커플러 시스템이 적용된 모의(Mock-up) 테스트

식저장소 시설 건설에 참여하였고, 최근에는 AREVA가 핀란드에 건설중인 Olkiluoto 3호기 (EPR, 1,600MWe) 건설에도 참여하여 원자로 Double Containment 설계와 시공을 성공적으로 구현하였다.

이외에도 Max Aicher Group에서 생산하는 특수 나선철근은 항공기 충돌에 대비한 원자로건물의 건설에도 성공적으로 적용되었다.

신형 원자로 건설 기준을 만족시키고 또 한편으로 시공업체, 발주자, 그리고 규제기관의 요구를 최적화하여 만족시키기 위해 Max Aicher Group은 고강도 나선식 철근(인장강도 670 MPa \approx Grade 100 ; 직경 18-75mm)과 부속품들을 개발하였다.

이러한 철근과 커플러 시스템의 적용을 통해 강화 콘크리트 벽에 미치는 항공기 충돌의 저항을 최소화 하였다. 첫 번째 프로젝트에서 10% 이상의 자재를 절감할 수 있음을 보여 주었다.

나사식 철근 시스템의 장점들을 이용하여 보조건물을 위한 블록 성형 콘크리트 벽 시스템(Precast concrete wall system)을 AREVA와 함께 개발 하

였다. 프로토타입은 60-80cm의 두께의 벽 시스템으로 지진과 잔해 하중에 견딜 수 있도록 설계되었고, 모의 테스트 결과 건설 기간이 현장 건설에 비해 38% 감소됨을 알 수 있었다.

이 두 가지 개발품은 내부와 외부로부터의 위험 요소에 저항할 수 있는 가장 안전한 차세대 건식 사용후핵연료 저장 시설의 다중 장벽 시스템의 구현을 위해 최근에 소개되었다.

이를 통해 항공기 충돌 이외에 떠오르는 새로운 위험 요소인 테러리스트를 통한 미사일 공격에도 안전한 저장 시설의 설계와 건설이 빠른 미래에 도입될 것이다.

주민들과 원전 종사자들을 방사능으로부터 최대한 안전하게 보호하고, 아울러 경쟁력 있는 비용으로 사용후핵연료 저장 시설을 건설하기 위해서는 지속적인 재료와 건설 공법의 개발이 요구된다. 물론 이러한 개발은 안전에 대한 주민의 관심과 규제기관의 요구가 전제되어야 할 것이다. ☺