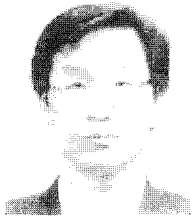


원자력발전소의 효율적인 시공관리를 통한 생산성 향상



조영석 · 현대건설 원자력사업단

1. 개요

현대건설이 우리나라의 최초 원전인 고리 1호기를 1972년 건설을 시작한 이래 16기의 원자력발전소를 연속적으로 건설하여 이중 16기가 가동중에 있고, 영광 5&6 호기 및 북한의 KEDO 등 4기는 건설중에 있다.

우리는 그공안 건설기법, 시공관리를 통하여 공기 단축을 위한 부단한 노력을 하여왔고, 그러한 노력은 건설공기를 고리 3호기 71개월에서 영광 5호기 58개월로 단축되는 효과를 가져왔다.(Fig.1 참조)

여기서는 당사가 1995년 준공한 영광 3호기와 2002년 준공한 영광 5호기를 대비하여, 우리가 노력해왔던 시공관리 방법을 기술하고자 한다. 영광 5&6호기 건설중에 우리는 기본적으로 요구되는 사업관리, 공정관리, 품질관리 뿐만 아니라 다음 사항에 대해서도 공사 시작부터 면밀히 검토하고 계획을 수립하여 다음과 같은 제도 개선을 추가로 실시하였다.

- 선형호기에서 발생된 Non Conformance Report등을 분석하고, 동일 문제가 재발되지 않도록 예방 활동을 강화하였다.
- Area Completion 개념으로 작업을

진행하여 간섭 및 작업지연 요소를 최소화 시켰다.

- 모든 사무실간 On-Line 전산망을 구축하고 검사자를 현장 전진 배치하여 검사로 인한 작업 지연 요소를 배제하였다.
- 용접사의 현장까지 투입되는 시간을 최소화하여 실 작업시간을 최대화 하였다.
- 작업에 투입되는 인원에 대한 교육을 강화하고 휴대용 매뉴얼을 배포하여 실무에 적용토록 하였다.

2. 품질 실패 사례 분석 및 예방 활동

품질관리 실패로 인한 비용은 공사비 증가, 품질의 저하, 공기 지연의 원인이 된다. 이를 효과적으로 방지하기 위하여 다음과 같이 노력하였다.

첫째, 선형호기에서 발생된 Non Conformance Report(NCR) 및 문제점을 분석하여 집중 관리함으로써 재발 방지에 노력하였다.

선형호기 NCR 등의 발생 유형 및 발생 시기를 분석하여 해당 공사 착수 6개월 전까지 집중 관리 항목을 설정하였다. 이를 바탕으로 시공 엔지니어는 집중관리 항목의 부적합사항 재발 방지에 주력하였

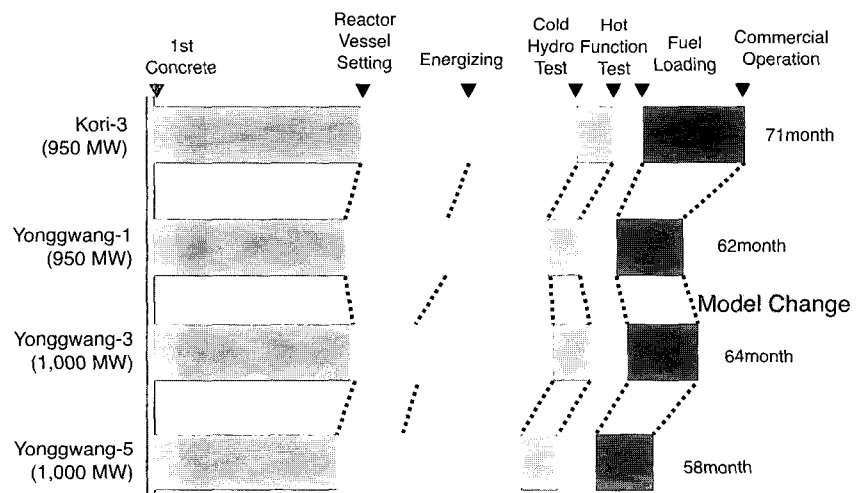


Fig 1. Reduction in Construction Period at Different Projects

표 1

		시공	자재	설계/문서	기타	계
영광 3&4호기	건수	1,641	1,147	68	259	3,115
	점유율	52.7%	36.8%	2.2%	8.3%	100.00%
영광 5&6호기	건수	668	461	19	0	1,148
	점유율	58.2%	40.1%	1.7%	0%	100%

고, 검사자는 이러한 취약부분을 집중 검사하였다. 또한 집중관리항목의 작업은 월 1회 체크하고 그 이행 상태를 점검하여 예방 품질활동에 주력하였다.

〈표 1〉은 영광 3&4호기 및 영광 5,6호기(공정률 99.8%, '02. 5월 기준) 공사시 발생한 NCR에 대한 유형별 분석이다.

위 결과에서 알 수 있듯이 NCR 발생건수가 영광 3&4호기에서는 총 3,115건에서 영광 5&6호기에서는 1,148건으로 대폭 감소하여 63.1%가 감소하는 큰 효과를 이루었다.

둘째, 작업실명제를 도입하였다.

검사자에 의한 정식 검사 이전에 작업한 자가 스스로 검사하고 검사 문서에 본인의 서명을 하는 제도로 예방 품질 활동을 위해 도입된 제도이다. 이는 작업자의 임의 판단에 의한 오작업을 막고, 자신에 대한 작업에 대한 책임감과 자긍심을 갖도록 한 제도이다. 작업자가 서명한 서류는 검사자의 서명과 함께 발전소 운전 기간 동안 보관되어 질 것이다.

배관사, 용접사, Concrete Expansion Anchor작업자, 열처리사, 도장공, 비파괴시험원 등을 작업 실명제의 대상으로 하였다.

Fig.2은 용접 검사 서류에 용접사와 배관사의 서명란이 추가된 양식의 예이다.

셋째, S등급의 검사를 강화하였다.

원자력 품목 Q,T,R등급에 대한 검사에 비해 상대적으로 소홀하기 쉬운 S(일반 산업품목)등급에 대해 ISO 9001에 입각한 "S등급 품질지침서"를 수립하였다. 또한, S등급 검사자의 자격을 "상기 품질지침서"에 따라 부여하여 검사자를 전문화 시킴으로써 S등급의 품질 활동을 강화하였다.

넷째, 검사 적발 지적서 제도를 도입하였다.

품질 요건에 벗어나는 작업 발견시 감독자, 검사자 누구나 작업 중지 명령과 함께 해당 작업자에게 검사 적발 지적서를 발행토록 하였다. 적용 범위는 작업에만 국한 하지 않고 안전, 환경(청소) 등 품질

및 안전에 위해를 줄 수 있다고 판단될 시 모든 것으로 대상으로 누구나 발행토록 하였다. 이는 재해율 감소, 안전 수칙 준수, 작업 품질 확보 측면의 상당한 효과가 기대되었다.

다섯째, 구역별 청소 전담제를 실시하였다.

구역별로 청소 전담자와 협력업체를 선임하고 지정된 구역의 청결유지를 책임지도록 하였으며, 주기적인 검사를 통하여 이에 대한 이행여부를 확인하였다.

3. 공정관리 기법 개선

이전에는 Bulk 작업을 System개념 위주로 작업을 진행하여 왔으나, 영광 5&6호기에서는 Area Completion 제도를 도입하여 공중간 간섭으로 인한 작업 지연 및 철거, 재작업을 최소화 하였다. 우선 각 건물을 Level별, Area별로 세분화시켜 Area Turn Over계획을 수립하였다. 각 Area별로 1차 도장 완료 후에 Duct, 대구경배관, Cable Tray, 소구경배관 순으로 우선 작업 순위를 정하여 공중간 간섭을 최소화하였다.

상기의 Area Completion 시행 결과 Bulk 공정의 연속 시공이 가능하였고, 가설재의 중복 설치 및 제거를 막을 수 있어

WELDING INSPECTION RECORD

For Butt Welding

1. Unit No :		2. CP No :		3. Dwg No :		Rev:	
6. Weld No / WPS No. / WPS-Rev No				"Directly Sign by Worker"			
7. Plumber or Fabricator		Name/Sign					
8. Welder		Name(I.D No.)/Sign					
9. Base Metal		Pipe Dia/Joint Thk					
		Joint Item		&		&	
		Heat No.		&		&	
		P-No.		&		&	
Purge Gas		Purge Penult		No		No	

Fig 2. 용접 검사 서류 양식

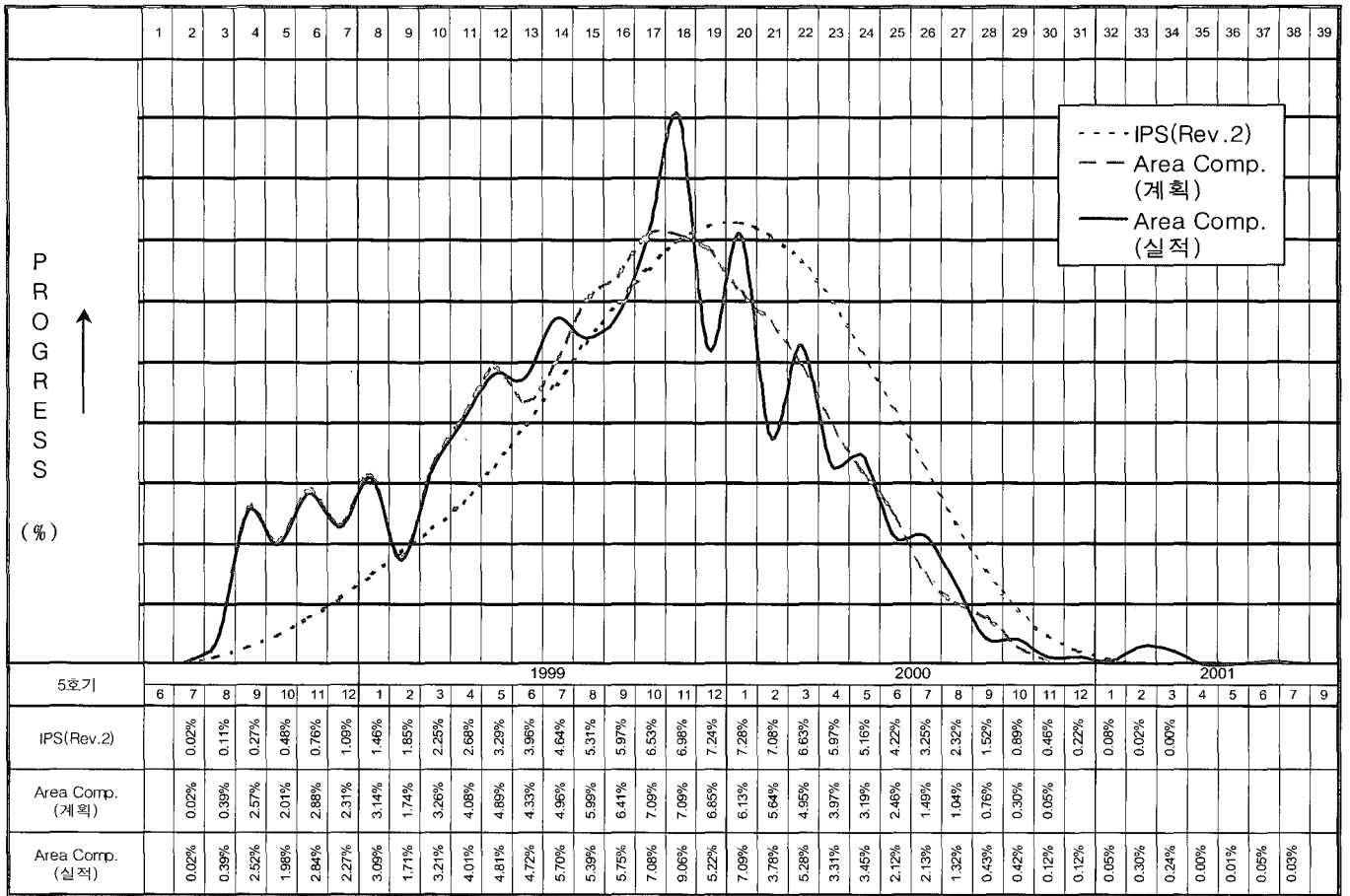


Fig 3. 영광 5호기 대구경 배관 계획 대 실적

인력과 자재의 효율적인 투입은 물론 비용면에서도 상당한 효과가 있었으며, 1차 도장후 청결한 작업환경을 유지하여 품질 향상을 이룩할 수 있었다. 특히, 주요 Bulk 공정의 Peak Time을 약 3~4개월 조기 수행함으로써 상운수압시험(HT)을 20일 조기 착수할 수 있었다. Fig.3은 영

광 5호기의 대구경배관의 작업 실적을 나타낸 것이다.

4. 효율적인 검사 체계 구축

검사에 소요되는 시간을 최소화하여 작업 진행에 도움을 주고자 전자시스템을

이용한 검사통보 및 검사자 현장으로서 전진배치, 검사 서류의 최적화를 추진하였다.

첫째, 발주자, 사용자, 협력업체, ANI 사무실간에 전산망을 Fig. 4와 같이 구축하고 모든 검사요청 서류를 전자 통보도 록 하였으며 검사 시간을 동일 시간대로

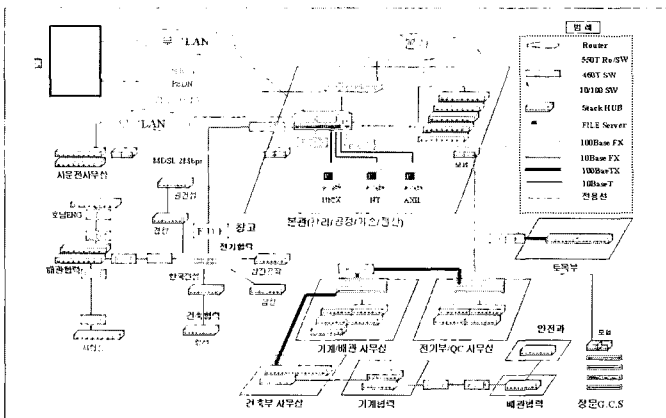


Fig 4. Network 구성도

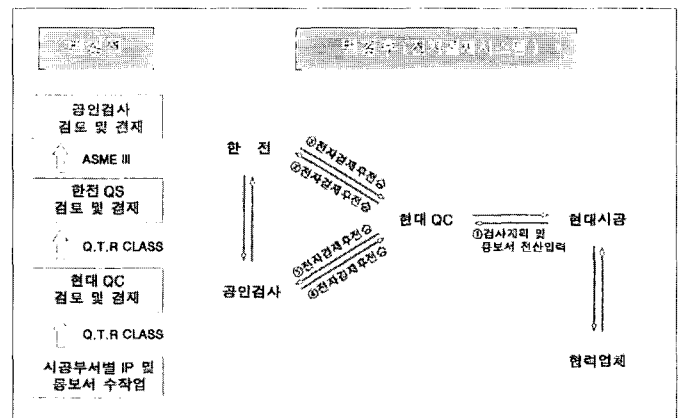


Fig 5. 검사 요청 제도 변경 도표

표 2

절차서명	영광 3,4호기	영광 5,6호기	서류 감소량
용접문서 절차서	맞대기용접부1개소당 WIR 1매	맞대기용접부1개소당 WIR 1매	21,400매 → 4,280매
배관제작 및 설치 절차서	배관제작검사서 & WIR 2장	배관제작 및 설치검사서에 통합	81,300매 → 불필요
배관지지대 제작 및 설치 절차서	배관지지대 검사보고서 지지대 1개소당 1장	배관지지대 검사보고서 지지대 3개소당 1장	64,200매 → 21,400매
다クト 제작 및 설치 절차서	서류 1장에 제작 4개	서류1장에 제작 9개	85,000매 → 38,000매
다クト지지대 제작 및 설치 절차서	서류 1장에 제작 4개	서류1장에 제작 9개	36,000매 → 17,000매
지하 전선관로 설비 절차서	FIT UP & FINAL 2장 작성	FIT UP & FINAL 통합하여 1장 작성	10,000매 → 5,000매
CABLE TRAY 및 지지대 설치 절차서	FIT UP & FINAL 2장 작성	FIT UP & FINAL 통합하여 1장 작성	12,800매 → 7,200매
노출전선관 및 지지대 설치 절차서	KCMS Card 1장/TAG	1R 1장/수 TAG	116,000매 → 24,000매
박스(BOX)설치 작업절차서	KCMS Card 1장/TAG	1R 1장/수 TAG	12,000매 → 2,000매

하였다.

Fig.5는 검사 요청 제도의 변경에 대한 비교 도표이다.

검사자의 여러 사무실을 방문하여 검사 요청서를 전달하는 방식을 탈피하여, 전자로 일괄 통보 처리됨에 따라 검사 통보에 소요되는 시간을 없앴으며, 동일 시간대 검사가 이루어 짐으로써 검사 대기로 인한 작업 재연을 방지할 수 있다.

둘째, 검사자를 현장으로 최대한 근접하여 배치하였다.

현장에 최대한 가까운 곳에 검사자를 위한 임시사무실을 설치하였다. 검사자를

작업 장소에 최근접하여 배치 시킴으로써 검사자의 현장 접근을 용이하게 하였다. 이는 검사자로 하여금 작업장소의 수시 확인이 가능토록 하였고 또한 검사에 소요되는 시간 단축을 가능하게 되었다.

셋째, 품질 서류를 최적화하였다.

중복되고, 작업 흐름을 방해하는 검사에 대한 요구 사항은 과감하게 통폐합 하였고, 검사 서류상의 서명 횟수를 최소화 시켜 서류의 최적화를 유도하였다.

〈표 2〉는 검사 서류를 최적화 시킨 현황이다.

5. 작업 시간 관리를 관리하여 실 작업시간을 최대한 확보하였다.

첫째, Gate Control System(전사식 출입 통제 시스템)을 설치하여 작업자들이 출입시 출입증에 부착된 인식용 바코드를 인식함으로써 출입 시간을 통제하였다. 이 자료는 전산화된 작업자의 신상 및 경력 파일과 연계하여 효율적인 인력 관리 운용이 가능케 하였다.

둘째, 용접사가 용접봉 수령 및 반납을 위해 대기하는 Zero화 시켰다.

용접봉 관리자가 용접봉을 작업시작 전에 캐니스터에 용접봉을 투입하여 놓으면, 용접사는 용접봉 관리실에 도착 즉시 캐니스터를 수령하여 작업을 할 수 있으며, 작업 완료후 캐니스터를 용접봉 관리자에게 바로 인계하여 대기하는 시간을 없앴다.

용접봉 관리자는 정규 작업 시간전후 용접봉을 캐니스터에 투입하고 그 사용량을 확인함으로써 용접사의 대기 시간을 없앴다. 여기에는 별도의 별집형 컨테이너가 투입되었고, 각 별집마다 용접사의 고유 번호를 부여하여 작업시간 이외에는 항상 이곳에 보관토록 하였다.

또한 용접봉 반납 횟수를 최소화 시킴으로써 용접사의 실작업 시간을 최대화하였다. Fig.6은 별집형 컨테이너 사진이다.

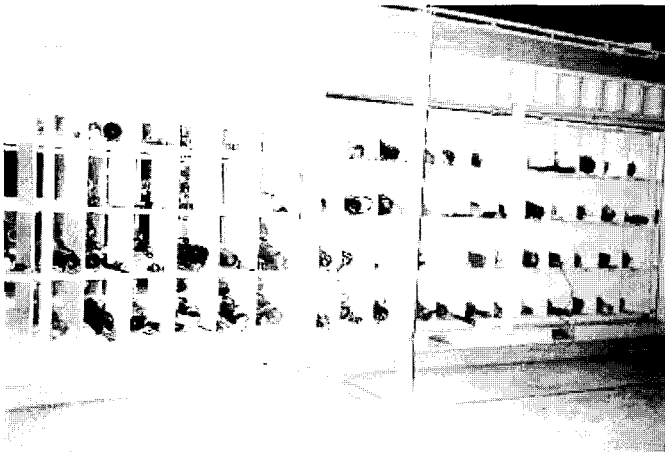


Fig 6. Network 구성도

표 3

일과시간	기존방법	개선된 방법	비 고
오 전	06:30		1. AM07:00작업착수/ PM22:00작업종료시 기준하여 비교표 작성 2. 용접봉수령 및 반납에 필요한 시간 : 1) 기존방법:2시간(3회) 2) 개선된방법:ZERO(1회) 3) 시간절감효과:2시간
	07:00	용접봉을 개인 캐니스터에 사전투입(봉관리자)	
	08:00	용접봉 수령	
	09:00	오전작업 *용접봉수령 및 반납 대기시간 없음	
	10:00		
	11:00	용접봉 반납	
	12:00	중식시간	
	13:00	중식시간	
	14:00	용접봉 수령	
	15:00	오후작업 *용접봉수령 및 반납 대기시간 없음	
오 후	16:00		
	17:00	용접봉 반납	
	18:00	저녁 식사시간	
	19:00	저녁 식사시간	
야 간	20:00	야간작업 *용접봉수령 및 반납 대기시간 없음	
	21:00	야간작업	
	22:00	용접봉 반납	

〈표 3〉은 용접봉 관리제도 시행 전후의 비교표이다.

상기의 표에 따르면 용접자의 실 작업 시간이 10~20%정도 증가한 것으로 판단 된다.

6. 작업자 시공능력 향상

작업절차서의 한글화하고 작업 매뉴얼을 수첩화하여 작업자에게 배포함은 물론 교육을 강화 하였으며, 또한 관리자의

Specification 및 절차서 숙지 상태 시험 등을 통하여 작업원의 시공 능력 향상을 꾀하였다.

첫째로, 작업절차서의 한글화 및 요약 수첩의 작업중 휴대하였다.

모든 작업 절차서는 작업자가 알기 쉽게 한글화하였으며, 필요한 사항이 요약된 내용은 휴대할 수 있도록 수첩화 하여 배포하였다.

둘째로 교육을 강화하였다.

직원에서 근로자까지 소양 교육, 시공

기술교육, 관리분야 교육으로 세분하여 교육하였으며, 1997년 06월부터 2001년 10월 말까지 총 연인원 94,439명을 교육 하였다.

7. 결론

상기에 설명하였던 여러가지 효율적인 시공관리로 직원 및 근로자의 품질의식 개혁과 안전 사고 예방에 큰 효과가 있었으며, 부적합사항 감소, 인력 투입 감소 등은 물론 공기 단축의 큰 효과를 가져왔다. 영광 3&4호기 대비 영광 5&6호기의 성과로

- 작업공기가 64개월에서 58개월로 6개월 단축 되었고,
- 이 공사에 동원된 근로자는 193,795MM에서 170,000MM로, 직원은 16,252MM에서 15,000MM로 각각 12.3%, 7.7%가 감소하였으며,
- 또한 NCR발생 건수는 3,115건에서 1,148건으로 63.1%가 감소하였다.

이상은 영광 5&6호기에서 당사와 발주처가 합심하여 노력한 결과이며, 보다 나은 시공품질 및 공기 단축을 위해서는 앞으로 끊임없는 연구와 검토가 필요할 것이다.