

가동원전 핵연료취급기기의 설비개선

Fuel Handling Equipment Modifications and Upgrades for Operating Nuclear Power Plants

김범식, 고광적, 맹철수, 임대현, 장상균, 황정기, 김인용, 최택상

한국전력기술(주)
305-353 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

국내 가동원전의 핵연료취급설비는 대부분 1970 ~ 1980년대 설계된 구형으로 장기간 운전에 따른 노후화 및 부품공급의 단절에 따른 수리/보수시 어려움을 겪고 있다. 또한, 세계적인 추세에 맞춰서 국내 가동원전에서도 원전의 안전성 향상과 더불어 원전의 이용율을 향상시키려는 노력의 일환으로 계획예방정비기간을 단축할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 계획예방정비기간중 핵연료 인출 및 장전작업은 대부분의 경우에 임계공정업무에 해당된다. 현재, 국내 가동원전에서는 시간당 약 2.5개의 핵연료를 인출 및 장전하고 있는 반면에, 설비 개선된 국외 가동원전에서는 시간당 6.0 개 이상의 핵연료를 취급하고 있다. 따라서, 국내 가동원전의 핵연료취급기기는 설비개선이 필요한 상태이다. 본 논문에서는 국내 가동원전 핵연료취급기기의 현황을 분석하고, 기존 기기의 기초구조물을 제외한 계측제어장치 및 구동부를 중점적으로 개선해야 하는 설비개선 범위를 선정하고, 이들에 대한 기능요건을 소개한다.

Abstract

The existing Fuel Handling Equipment in operating nuclear power plants is the original equipment designed and installed in plants ten to twenty, or even more than twenty years ago. Much of this equipment is now obsolete, with spare parts being costly and difficult to obtain. Furthermore, equipment aging may have compromised reliability to the degree that significant downtime is being encountered more and more frequently each outage. A major objective of the modification and upgrades is to not only make the refueling equipment more reliable, but to reduce the amount of time required to transfer fuel. This can be safely attained through improved reliability, increased equipment speeds, automatic positioning, dual axis motion, and other features now available. According to the preliminary data we received from the sites, the current fuel movement rate is approximately 2.5 fuels per hour. With the modification and upgrades to the Fuel Handling Equipment, we anticipate the fuel movement rate will increase to approximately 6.0 fuels per hour. This paper introduces the equipment to be modified and upgraded for operating nuclear power plants.

1.0 서 론

국내 가동원전의 핵연료취급설비는 대부분 1970 ~ 1980년대 설계된 구형으로 장기간 운전에 따른 노후화 및 수리/보수시 부품공급의 단절에 따른 어려움에 직면해 있으며, 관련 기기는 핵연료를 안전성 측면만 고려하여 저속의 단일속도로 이송하도록 설계되어 있다.

원자력발전소에서는 원전의 안전성과 더불어 원전의 신뢰성 및 이용율을 향상시키려는 노력의 일환으로 계획예방정비기간 단축을 시도하고 있는데, 이것은 경제성 및 안전성 관점에서 모두 중요하기 때문이다. 이미 세계 여러 가동원전에서는 핵연료취급설비 운영의 자동화로 계획예방정비기간 단축과 작업자에 대한 방사선 피폭량 저감효과를 거두고 있으며, EPRI URD에서도 개량형원자로 설계시 관련 요건들의 채택을 의무화하고 있다.

핵연료취급계통은 크게 재장전기중기, 핵연료이송계통 및 사용후연료취급기로 구성되며 원자로 건물과 핵연료건물에 걸쳐서 설치되어 있다. 핵연료 재장전 과정상 이들 기기들은 서로 연동하여 작동되므로 재장전기간 단축을 위해서는 동시에 설비개선작업이 고려되어야 한다.

핵연료 인출 및 장전 작업은 대부분이 임계공정업무에 해당되며, 국내 가동원전의 경우 시간당 약 2.5개의 핵연료를 인출/장전하고 있는 반면에, 국외에서는 관련 기기의 설비개선을 통해 시간당 6.0 개 이상의 핵연료를 취급하고 있는 현황에서 국내 원전의 핵연료취급설비의 개선이 필요한 상태이다. 본 논문에서는 국내 가동원전의 핵연료취급기기 현황을 살펴보고, 이 결과를 토대로 현재 보다 2배 이상의 이송속도를 얻을 수 있는 각 주요기기의 개선사항을 도출하고 각 기기에 대한 기능요건을 소개한다.

2.0 기존 핵연료취급기기 현황

국내 가동원전중 웨스팅하우스형 가동원전인 고리 1, 2, 3, 4호기, 영광 1, 2호기와 프라마토크형인 울진 1, 2호기의 핵연료취급기기는 기기의 구성, 기능 및 성능 측면에서 거의 동일한 설계로 되어 있다. 이들 원전은 최소 15년 이상 운전된 1970년대 설계로서 주로 계측제어기기 및 케이블 등이 노후화되었고, 수리/보수시 동일 부품을 구입하는데 어려움을 겪고 있으며, 또한 구동장치는 저속의 단일속도이다. 표준원전형 가동원전인 영광 3, 4, 5, 6호기 및 울진 3, 4호기의 핵연료취급기기는 가동기간이 10년 미만으로 노후화된 부품은 없지만 계측제어기기 이외에는 근본적으로 1970년대 설계로 제작되었기 때문에 기기의 기능 및 성능이 웨스팅하우스형 가동원전과 동일하다.

표 1은 최근에 실시된 핵연료 인출 및 장전 소요시간은 표인데, KOPEC이 최근에 실시한 울진 1호기, 고리4호기 및 영광 1호기의 핵연료 재장전 소요시간을 측정/분석한 결과와 한수원에서 계획예방정비기간중 측정한 결과에 근거한 것이다. 표 1로부터 알 수 있듯이, 핵연료 인출시에는 평균 23.3분 소요(시간당 2.6개)된 반면에, 장전시에는 26.3분 소요(시간당 약 2.3개)되는 것으로 나타났다. 반면에, 표 2는 국내 가동원전 핵연료취급기기를 공급한 PaR Systems에서 설비개선한 주요원전의 설비개선전.후 핵연료 인출 및 장전 소요시간이 표

이다. 대부분의 원전에서 설비개선후 핵연료 이송속도는 개선 전에 비하여 2배 이상 빨라졌음을 알 수 있다. KOPEC과 PaR Systems에서 수행한 재장전 소요시간 측정/분석결과에 의하면, 국내 가동원전도 관련기기를 설비개선할 경우에는 핵연료를 시간당 최소 6.0개 인출 및 장전할 수 있는 것으로 분석되었다. 표 3은 국내 가동원전별 기존의 핵연료취급기기의 이송속도와설비개선 후 예상되는 이송속도이다. 기존의 대부분의 기기는 이송속도를 증가시켜야 함을 알 수 있다.

3.0 개선 핵연료취급기기

본 절에서는 설비개선될 주요기기가 갖추어야할 기능요건을 설명한다. 설비개선 범위는 현장 조사를 통해 기존 핵연료취급기기의 설치 상태 및 성능을 고려하고 가동원전의 특성상 가능한한 인접기기에 영향을 미치지 않도록 설정하였다. 주된 설비개선 범위는 기존의 철골 구조물은 그대로 유지한 상태에서 핵연료 재장전기 콘솔의 자동운전모드 기능, 핵연료 이송속도를 증가할 수 있도록 구동장치 및 구동방법 개선, 그리고 속도증가에 따른 하중지시 및 중량변화 감지장치, 운전위치 지시장치 등이다.

3.1 핵연료 재장전기

설비개선될 핵연료 재장전기의 설비개선 범위 표시도는 그림 1과 같다.

3.1.1 콘솔(Control Console) :

개선될 콘솔은 입출력 자료의 제어 뿐만아니라 재장전 과정을 도시적으로 나타낼 수 있어야 한다. 이같은 기능을 만족시킬수 있는 콘솔은 이중 프로세서(dual processor)로 구성되어야 한다. 먼저, PLC(Programmable Logic Controller) 프로세서는 핵연료 재장전기의 운전구역내에서 안전하게 작동할 수 있도록 모든 기기의 제어 및 경계구역 감시를 주관하고 모든 스위치, 엔코더, load cell, joystick 및 pushbutton 등의 신호를 송수신한다. 제 2의 프로세서는 PC(Personnel Computer)인데, 이것은 PLC와 직접 연결되어 있어서 PLC에서 발생하는 입출력 자료를 저장 및 지시하며, 운전자에게 연계사항 및 핵연료 이송 데이터를 도식적으로 제공한다. 또한 PC 프로세서는 연동장치와 관련 계통의 고장점검을 확인할 수 있는 정보를 제공하여야 한다.

3.1.2 운전 모드

개선될 콘솔에는 기존의 수동 및 반자동 운전모드에 자동 운전모드가 추가된 3종류의 운전모드를 갖고 있어야 한다. 수동운전 모드(manual mode)는 기존의 콘솔 처럼 모든 구동부위가 조이스틱(joystick)에 의해 제어된다. 이송속도는 0 부터 최대 설정치까지 조이스틱을 움직여서 변경할 수 있다. PLC가 고장난 경우에도 저속으로 작동될 수 있도록 "Interlock Override" 모드 기능을 갖추고 있어야 한다. 이때, 핵연료 재장전기의 boundary zone 점검기기와 연동기기는 기능하지 않지만, 그리퍼, 브릿지, 트롤리 및 호이스트 등의 작동은 가능하다.

반자동 운전모드(semi-automatic mode)에서는 운전자가 수작업으로 노심내, 직립기

내, 또는 임의의 위치에 대한 브릿지, 트롤리 및 호이스트의 좌표값을 입력한후 자동 운전될 수 있으며, 핵연료 이송시간을 단축하기 위하여 최단 거리로 브릿지와 트롤리를 동시 이송(simultaneous movement)할 수 있다. 일반적으로 호이스트 이송은 수동으로 제어된다.

자동운전 모드(automatic mode)는 반자동 운전모드와 유사한 기능을 갖는다. 단지, 이 운전모드에는 반자동 운전모드의 기능 이외에 PC에 저장된 일련의 핵연료 관련 자료 파일을 이용할 수 있는 기능이 더 추가된다. 이 파일에는 핵연료의 좌표값, 일련번호, 핵연료 형태, step number, orientation 등과 같은 핵연료의 특성들이 수록되어 있다. 따라서, 이 파일을 이용할 경우에 핵연료 재장전기 운전자는 콘솔의 모니터상에 나타난 메시지만을 확인/점검하면 된다.

3.1.3 경계구역 보호(Boundary Zone Protection)

경계구역보호 기능은 PLC 프로세스에 의해 제어된다. 제한스위치(limit switch), 엔코더, Load cell, Pushbutton 및 조이스틱 등의 신호는 PLC로 입력되어 경계구역을 제어하도록 되어 있다. 이 경계구역보호는 핵연료 재장전기 이송에 방해될 수 있는 장애물(상부안 내구조물 저장대, 원자로 동공벽, 원자로용기 핀 등)과의 접촉을 피할 수 있도록 최외각 작업구역을 연결하여 설정한다. 기타 장애물(고착된 원자로용기 스테드, 검사장비, 여과장치 등)이 원자로 공동내로 유입된 경우에도 경계구역은 쉽게 변경될 수 있어야 한다.

3.1.4 Off-Index 기능

브릿지와 트롤리의 동시 이송과 함께 호이스트의 상승 및 하강속도는 핵연료 인출 및 장전시간에 큰 영향을 미친다. 특히, 핵연료 휨 때문에 핵연료 인출 및 장전시 큰 어려움을 겪고 있는데, 이같은 문제를 해결하기 위해 콘솔에는 Off-Index 기능이 있어야 한다. 이 기능은 핵연료를 장전 및 인출시 이미 장전되어 있는 인접한 핵연료로부터 약 10cm 이격하여 상승 및 하강함으로 인접한 핵연료와 간섭되지 않고 호이스트를 고속으로 상승 및 하강할 수 있게 한다. 반면에, 정상운전인 On-Index로 작동되는 경우에 호이스트는 이미 장전된 핵연료 상단을 통과할 때와 핵연료 하단 위치에 도달할 때 인접한 핵연료와의 손상을 방지하기 위해 저속으로 상승 및 하강되고 있다.

3.1.5 엔코더(Encoder)

핵연료 재장전기의 위치를 감지하기 위해 사용되는 엔코더는 이중 개념으로 설치되어야 한다. 브릿지, 트롤리 및 호이스트에 각각 2개씩 총 6개가 설치되어서 고장시 대체될 수 있어야 한다. 브릿지 및 트롤리용 엔코더는 수평방향으로 설치되어 있는 기어 랙(gear rack)에 의해, 그리고 호이스트용 엔코더는 호이스트 박스에 연결된 철선(tag line)에 의해 구동된다. 핵연료 재장전기의 전원이 상실된 경우에도 엔코더는 그 기기의 위치를 정확히 기억하고 있다가 다시 전원이 복원되면 그 위치를 표시할 수 있어야 한다.

3.1.6 연동장치(Interlocks)

증가된 이송속도에서도 핵연료를 안전하고 효율적으로 이송할 수 있도록 연동장치

는 이중 개념으로 설치되어야 한다. 다음의 연동장치는 PLC 계통에 의해 감지된다: 병진운동; 호이스트 상승 및 하강 제한, 과부하, 저부하, 케이블 처짐; 인양 및 병진 속도; 그리고 체결/풀림; 이송계통 상태; 경계구역; 운전영역 연동장치. 호이스트의 상승 및 하강속도는 브릿지 및 트롤리의 위치에 따라 결정되는데, 핵연료가 안전한 구역이나 높이에 위치하거나 핵연료를 붙잡고 있지 않은 경우에 호이스트는 고속으로 이송될 수 있어야 한다.

3.1.7 모터 및 모터 드라이브

기존의 모터와 모터 드라이브는 표 3의 개선후 핵연료 재장전기의 이송속도로 구동될 수 있도록 개선되어야 하며, 성능측면에서 기존의 것보다 개선된 특성을 가져야 한다. 수동 운전모드에서 모터의 속도는 조이스틱의 이동거리에 따라서 변한다.

3.1.8 하중측정계통(Load Weighing System)

관련 기기의 이송속도가 증가됨에 따라서 교체될 load cell 및 signal conditioning unit(SCU) 등 하중측정계통은 기존의 것과 비교하여 온도 변화에 덜 민감할 뿐만 아니라, 응답시간이 훨씬 빠른 특성을 가져야 한다. 모든 하중설정치는 PLC에 의해 제어되기 때문에 쉽게 조정될 수 있다.

3.1.9 시뮬레이터(Simulator)

핵연료 재장전 작업 이전에 핵연료 재장전기 운전원의 운전 훈련과 재장전기중기 콘솔의 부품을 시험할 수 있는 시뮬레이터를 설치하여야 한다. 시뮬레이터는 핵연료 재장전기의 콘솔과 동일한 PLC 및 계측제어기와 핵연료 재장전기 구조물에 부착되어 있는 구동모터, 엔코더 및 모든 스위치 등으로 구성되어 있다. 핵연료 재장전기 운전원은 재장전 작업 이전에 시뮬레이터를 이용하여 콘솔의 작동방법에 숙달할 수 있고, 발생 가능한 고장사고에 대한 해결 능력을 배양할 수 있다. 또한 시뮬레이터의 내장품들은 핵연료 재장전기의 관련 부품과 동일한 규격을 갖고 있기 때문에 비상시 예비품으로 사용될 수 있다.

3.1.10 원격감시장치(Control Room Supervisor: CRS)

원격감시장치는 노심내에서 수행되고 있는 핵연료 재장전 작업과정을 실시간으로 중앙제어실에서 감시하는 장치이다. 이를 위하여 핵연료 재장전기 콘솔과 주제어실에 설치되는 원격감시장치 사이에는 광학 케이블을 설치하여야 한다. 이 장치는 재장전기중기의 콘솔과 동일한 스크린을 갖고 있기 때문에 원자로 건물에서 수행되고 있는 핵연료 재장전 작업과 관련한 모든 정보를 실시간으로 습득할 수 있다. 즉, 핵연료 재장전기의 브릿지, 트롤리 및 호이스트의 위치와 핵연료 이송 상태, 핵연료 번호 등을 점검 및 확인할 수 있다.

3.1.11 연료장전안내공구>Loading Assistance Tool: LAT)

고리 3, 4호기, 영광 1, 2호기 및 울진 1, 2호기의 핵연료는 장주기운전에 따른 휨(bent) 현상이 심하게 발생하여 연료 장전시 큰 어려움을 겪고 있다. 이때 연료 장전을 용이

하게 하는 공구가 LAT이다. 현재, 국내에서 이 공구는 핵연료 재장전기 브릿지 위에서 수동으로 연료가 안착될 노심내에 설치되고 있다. 따라서, 핵연료 재장전기는 이 시간 동안 이동할 수 없으므로 재장전 시간을 지연시키는 요인이 된다. 이같은 현상은 새로이 핵연료 재장전기와 동일한 레일위에 보조작업대(auxiliary platform)을 설치하고, 이 곳에서 본 공구의 노심내 안착작업을 수행하면 방지할 수 있다. 즉, 본 공구를 보조작업대 위에서 안착하는 동안 재장전기는 다음 번 연료의 이송을 위해 이동될 수 있기 때문이다. 본 공구를 임의의 노심내에 안착시키기 위해서는 최소 2분 정도 소요됨으로 전체적으로는 핵연료 장전시 마다 약 3 ~ 5시간 재장전 시간을 지연하는 원인이 된다.

3.2 핵연료 이송계통

개선될 핵연료 이송계통의 설비개선 범위 표시도는 그림 2와 같다.

3.2.1 자동 작동(Auto-Initiation)

기존의 핵연료이송계통의 작동은 원자로 건물쪽과 핵연료건물쪽의 제어판넬에서 운전원에 의해서 각각 수행되고 있다. 그러나, 개선될 핵연료이송계통의 제어시스템은 자동화됨으로 작동이 매우 간단하게 이루어질 뿐만 아니라, 핵연료 재장전기와 사용후연료취급기의 운전원에 의해서 양 건물에 설치되어 있는 제어판넬을 자동 작동시킬 수 있도록 연동장치를 설치한다. 이 경우에 핵연료이송계통의 제어판넬 운전원이 필요하지 않게 된다. 이 기능을 위해서는 핵연료 재장전기 - 원자로 건물쪽 이송계통 제어판넬과 사용후연료취급기 - 핵연료건물쪽 제어판넬 사이에 케이블을 설치하여야 한다. 또한, 양쪽 건물간의 통신을 위해 양쪽 제어판넬을 연결하는 통신용 케이블이 관통부(penetration)를 통해 설치되어야 한다.

3.2.2 직립기 속도

직립기의 상승속도 및 하강속도를 증가시키기 위해 기존 직립기의 단일속도 원치모터는 가변속도를 갖는 것으로 개선되어야 한다. 이때, 직립기에는 고속운전을 제어할 수 있도록 제한스위치와 엔코더를 설치하여야 한다.

3.2.3 근접 스위치(Proximity Switch)

직립기 프레임과 운반차(carriage)의 위치를 감지하는 교체가능한 근접 스위치가 설치되어야 한다. 이 스위치는 고장에 대비하여 직립기 프레임의 상하 위치와 운반차의 중앙부위에 2개씩 설치되어야 한다. 운전시, 고장에 의한 수리/보수가 요구되는 경우에도 수중작업을 하지 않고 작업자 운전층(operating floor)에서 교체 가능하도록 설계되어야 한다.

3.2.4 운반차 구동 케이블 계통(Cart Drive Cable Winch System)

운반차의 구동계통이 체인구동인 경우에는 케이블 원치계통으로 교체될 필요가 있다. 이것은 대체로 케이블 원치구동계통이 체인구동계통 보다 유지/보수가 쉬울뿐만 아니라 운반차의 이송속도를 증가시키기에 용이한 구조로 되어 있기 때문이다. 따라서, 체인구동 방

식인 울진 1, 2호기의 경우에는 케이블구동 방식으로 교체될 필요성이 있다.

3.3 사용후연료취급기

국내 가동원전 핵연료취급설비의 현장조사 결과에 의하면, 원자로 건물쪽에서의 재장전 작업이 지체되고 있는 반면에, 핵연료 건물쪽의 경우는 대부분의 경우에 대기하고 있는 상태이다. 즉, 핵연료 재장전기나 핵연료이송계통이 재장전 시간을 지체하는 요인으로 밝혀졌다. 따라서, 사용후연료취급기의 설비개선은 낮은 부품의 교체나 신뢰성 증진 측면에서 고려되었다.

이같은 목적하에서 개선될 사용후연료취급기의 설비개선 범위 표시도는 그림 3과 같다. 개선될 사용후연료취급기의 제어판넬은 핵연료 재장전기의 콘솔과 다르게 수동 운전모드 기능만 갖는다. 연동장치는 relay로부터 PLC 형태로 교체되어야 하며, 신뢰성 향상을 위해 위치시계와 경계구역보호장치 등이 교체되어야 한다. 제어판넬에는 핵연료이송계통의 start/stop 스위치를 설치하여야 하고, 작동이 불안정하고 노후화된 이동용 pendant는 교체되어야 한다. 이외에 호이스트의 구동장치는 이송속도를 증가시키기 위해 교체되어야 한다.

4.0 결 언

신규원전의 건설이 어려운 상황에서 국내 가동원전의 안전성과 이용율을 향상시키기 위한 방편으로 핵연료취급기기의 설비개선이 요구되고 있다. 소개된 국내 가동원전 핵연료취급기기의 설비개선 범위를 도출시 다음의 사항을 고려하였다:

- (1) 가동원전의 특수성을 고려하여 최대한 인접한 설비간에 연계사항이 발생되지 않도록 하였다.
- (2) 기존의 핵연료취급기기의 철재구조물은 설비개선 범위에서 고려하지 않았다.
- (3) 최근에 수행된 가동원전 핵연료취급설비의 각 기기별 재장전 과정의 소요시간 분석 결과에 근거하였다.

제 3절에서 소개한 설비개선 범위는 근본적으로 국내 경수로형 모든 가동원전의 핵연료취급기기의 설비개선에 적용할 수 있다. 이 경우에 재장전기간중 핵연료 이송속도는 시간당 평균 6.0 개를 취급할 수 있게 될 것인데, 이것은 기존의 핵연료 이송속도인 시간당 약 3.0개 미만인 것에 비교하면 대략 2배 이상 빠른 것이다. 따라서, 계획예방정비기간 단축을 통한 원전의 이용율 및 신뢰성 향상으로 경제성 효과가 클 뿐만 아니라, 운전원의 방사선피폭 저감에도 크게 기여할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] ANSI/ANS-57.1-1992, Design Requirements for Light Water Reactor Fuel Handling System.
- [2] 핵연료 인출 및 장전시 소요시간 측정자료, 한수원(주).
- [3] Fuel Handling System Upgrades 발표자료, PaR Systems.

표 1. 가동원전별 핵연료 인출/장전 소요시간 비교[2]

발전소 명	인 출 (min./FA)	장 전 (min./FA)	O/H 차수
고리 4호기	24.7 (2.4 FA/hr)	27.3 (2.2 FA/hr)	13차
영광 1호기	20.9 (2.9 “)	27.0 (2.2 “)	13차
울진 1호기	21.5 (2.8 “)	28.2 (2.1 “)	10차
울진 2호기	22.6 (2.5 “)	26.4 (2.3 “)	10차
영광 3호기	25.7 (2.3 “)	20.9 (2.9 “)	6차
울진 3호기	24.7 (2.4 “)	28.0 (2.1 “)	3차
평 균	23.3(2.6 FA/hr)	26.3(2.3 FA/hr)	

표 2. 국외 가동원전의 설비개선 전후의 핵연료 이동갯수 비교[3]

발전소	개선전 (FA/hr.)	개선후 (FA/hr.)	단축시 (hr.)	수행 연도
Vogtle	3.9	5.8	36	'96
Farley	4.2	7.6	32	'95
Seabrook	3.4	6.4	44	'96
Koeberg	2.0	5.7	98	'97
Callaway	4.6	7.6	33	'97
Almaraz, Spain	4.2	7.6	35	'97
Indian Point 2	3.5	7.3	56	'97

표 3. 국내 가동원전별 핵연료취급기기의 최대 이송속도 비교[2]

설비구분		고리1,2호기 (m/min.)	고리3,4 (영광1,2호기) (m/min.)	울진1,2호기 (m/min.)	울진3,4 (영광3,4호기) (m/min.)	설비개선 후 예상속도 (m/min.)
재장전 기중기	호이스트	4.8	6.1	5.5	5.5	12.0
	브릿지	4.8	12.0	11.5	9.1	18.0
	트롤리	6.0	6.1	5.5	9.1	12.0
사용후연료 취급기중기	호이스트	6.5	6.4	5.0	5.5	12.0
	브릿지	10.0	9.0	4.8	9.1	9.1
	트롤리	수동	9.0	2.4	9.1	9.1
핵연료 이송계통	직립기	20초	19초	75초(4.0)	95초	12.0
	이송차	128초	200초	110초(6.0)	75초(9.1)	15.0

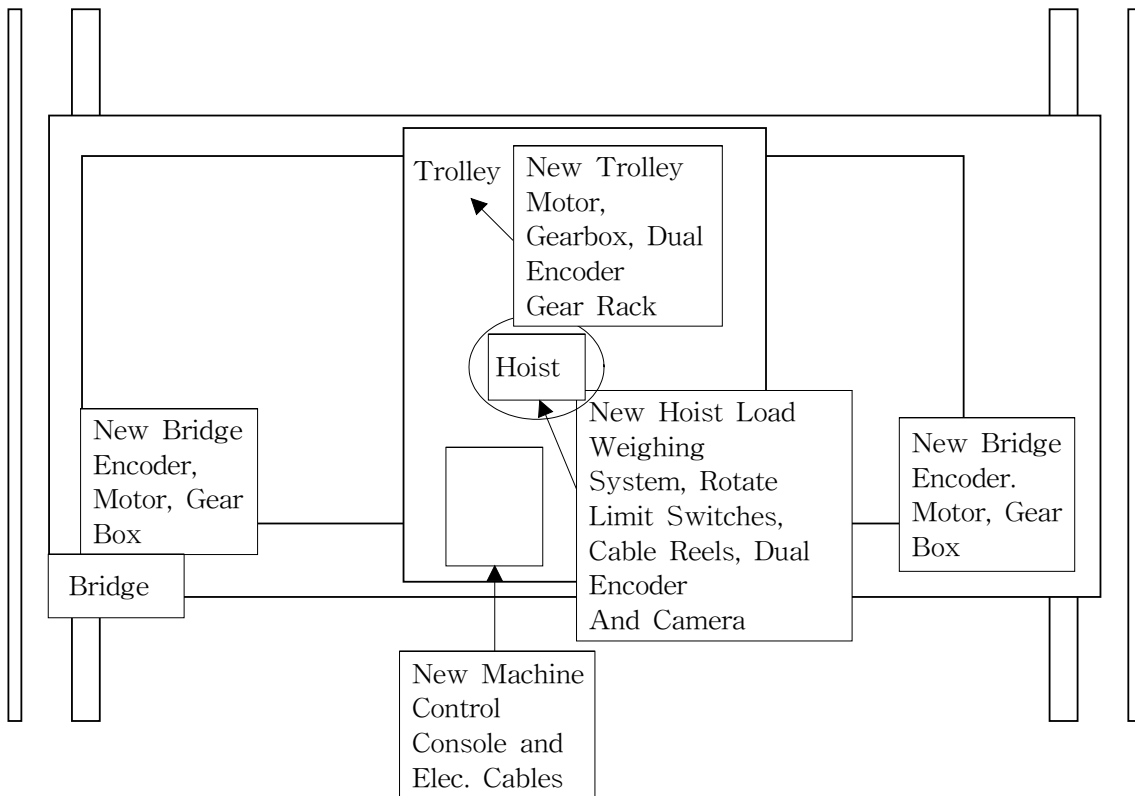


그림 1. 재장전기중기 설비개선 범위 표시도

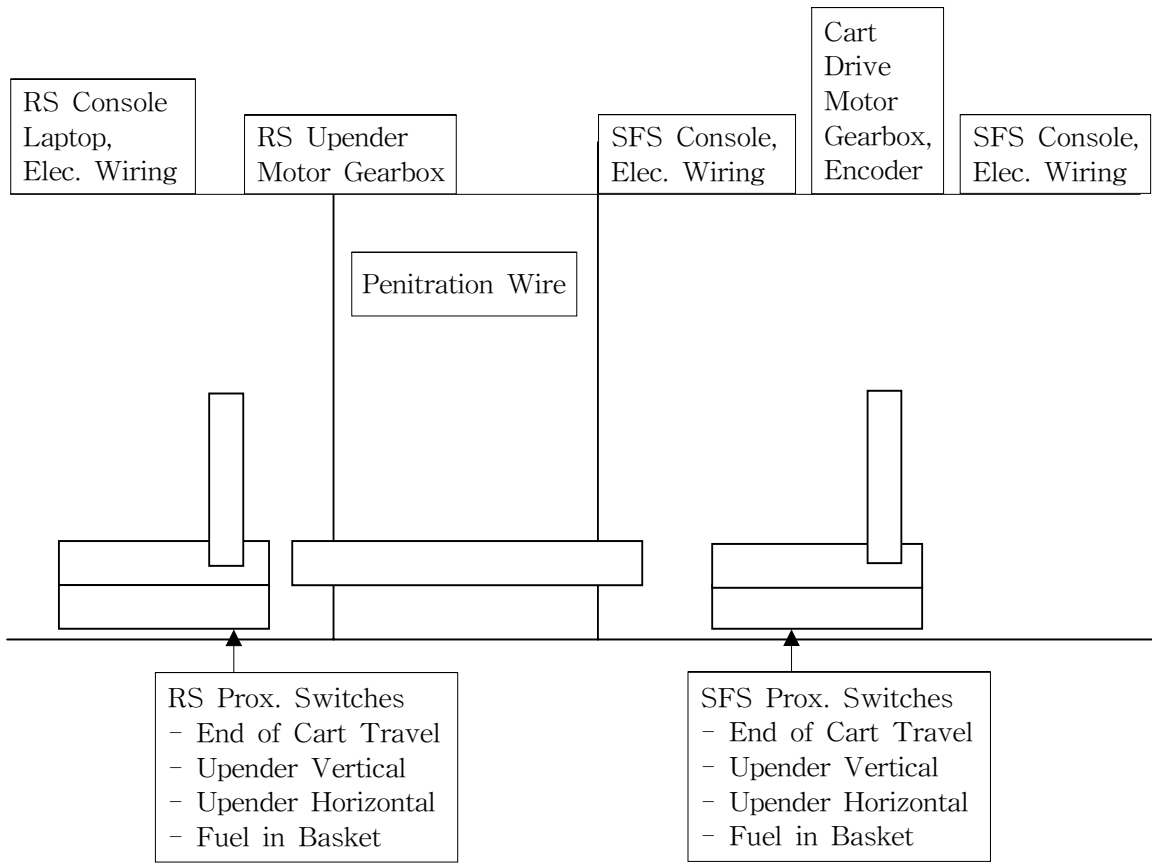


그림 2. 핵연료이송계통 설비개선 범위 표시도

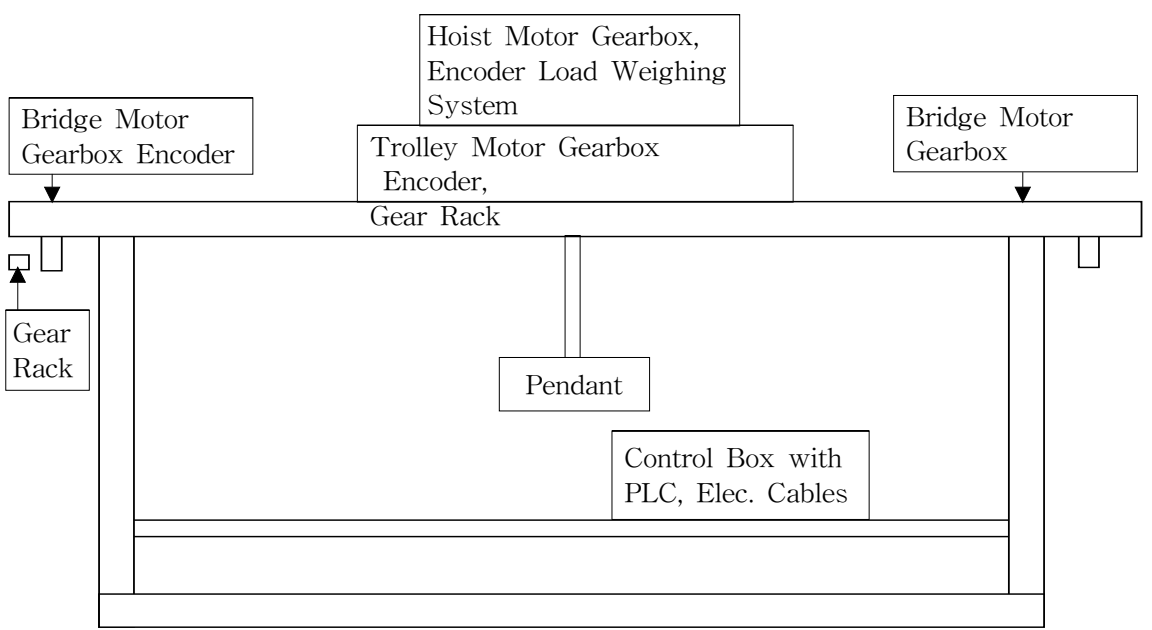


그림 3. 사용후연료취급기중기 설비개선 범위 표시도