

CANDU 온라인 출력 감시 시스템 구현을 위한 데이터 모델링

윤문영, 권오환, 엄충섭
고등기술연구원 엔지니어링정보기술센터

A Data Modeling for Implementation of On-line Power Monitoring System in an Existing CANDU Core

Moon-Young Yoon, O-Hwan Kweon, Choong-Sub Yeom
Engineering Information Technology Center, Institute for Advanced Engineering

1. 서론

중수형 원전은 국내 가압 경수로의 보완 원자로형으로 현재 4기가 운전되고 있다. 중수형 원전은 천연우라늄을 핵연료로 사용하기 때문에 연소도를 고려하여 운전 중 매일 핵연료를 교체하는 운전 특성을 갖고 있으며, 노심 내 출력분포 및 출력을 제어하기 위해 수위영역제어기의 수위가 계속 변하는 특성 또한 가지고 있다. 이 외에도 조절봉 등의 다양한 제어장치들이 출력제어를 위해 거동하게 된다. 이와 같이 노심 내에서 다양한 섭동 요인이 잠재해 있으므로 노심의 출력변화시 최대 다발/채널 출력이 노심의 안정성과 관련된 운전기술지침서 상의 운전 제한치, 즉 핵연료 다발/채널 최대출력 제한치 내에 있는지 상시 감시될 필요가 있다.

이러한 목적으로 본 연구에 앞서 가압중수로형 원자로의 출력을 2-4분 단위로 연속 계산하는 출력 감시 시스템의 설계 전반에 걸친 타당성 검증을 위해, 정상상태에서의 알고리즘의 검증 및 핵연료 교체의 연속성을 최대로 고려하는 가정에 대한 검증을 통해 가장 적절한 핵연료교체 구조에 대한 가정을 확정하였으며, 출력감발시 사용된 제어봉의 오차 보정 알고리즘과 격자계산을 위한 변수생산 알고리즘을 구축하여 RFSP(Reactor Fueling Simulation Program)와 같이 연계, 중성자속 계측값과 비교하여 감시 시스템에서 사용될 알고리즘의 타당성이 검토되었다.

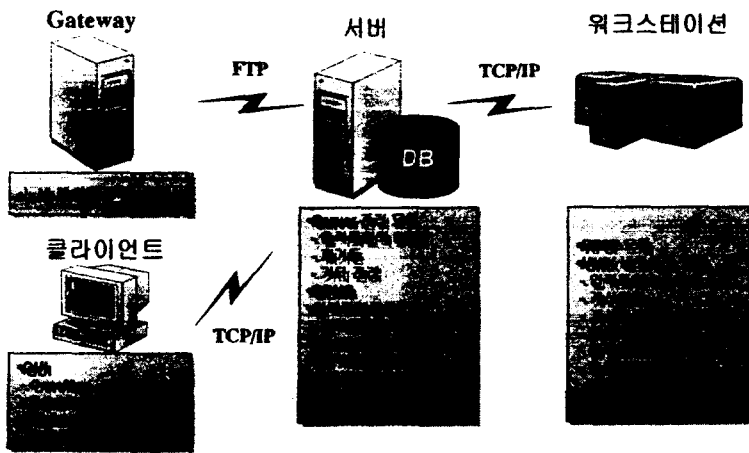
중수형 원전의 출력감시 시스템 구현을 위해서는 방대한 양의 데이터에 대한 체계적인 처리가 요구된다. 본 논문에서는 노심 출력 감시 시스템 구현을 위해 요구되는 입출력 자료 등의 운영 데이터들을 통합하여 구조화하기 위한 과정, 즉 데이터베이스화를 위한 데이터 모델링 과정에 대해 설명하였다.

2. 본론

2.1. CANDU 온라인 출력 감시 시스템 개요

중수형 원전의 운전 중 출력 분포 감시를 목표로 설계된 본 시스템의 주요 기능은 핵연료 다발 및 채널의 출력 분포를 파악하여 최고 출력을 상시 감시하는 것이다. 출력 계산 결과의 신뢰성 확보를 위해 RFSP 코드를 통한 노심 출력 계산을 수행하는 과정이 필요하며, 원자로 내 제어장치들의 위치정보와 노심 계산을 위한 각종 현장 값들은 소내전산기와 게이

트웨이를 통해 제공되는 이진파일에서 추출된다. 운전이력에 대한 값들은 현재 계산 시간 기준으로 직전에 생성된 RFSP 출력 파일에서 추출할 수 있으며 이를 사용하여 노심 출력 분포 계산을 위한 입력파일을 생성한다. 또한 계산된 출력분포와 노내 중성자속 계측기의 계측결과를 이용하여 중성자속을 Mapping 함으로서 출력분포 감시에 대한 신뢰도를 높게 된다. 이러한 알고리즘을 이용하여 노심을 상시 감시하기 위해서는 이 같은 출력계산 작업이 온라인으로 계속 반복되어야 하므로 RFSP 코드의 입출력 파일의 자동생성 과정이 필요하다. 따라서 CANDU 노심 출력 감시 시스템은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 RFSP 실행 모듈, RFSP 입출력 파일 자동 생성 모듈, 이들 자료를 데이터베이스화 하는 Server 관리 모듈 및 GUI Client 모듈 등으로 구성되며, 이들 모듈은 물리적으로 다른 컴퓨터에 존재하므로 모듈 간의 통신을 담당하는 네트워크 모듈 역시 시스템에 포함된다.



[그림 1] CANDU 온라인 출력 감시 시스템 아키텍처

2.2. 출력계산 시스템 구현을 위한 데이터 모델링

데이터베이스는 조직의 기능을 수행하는데 반드시 필요한 운영데이터들을 통합하여, 중복을 배제하고 구조화하는 과정을 거쳐 컴퓨터화하여 저장해 놓은 데이터의 집합이다. 이를 통해 조직의 구성원들은 업무에 필요한 자료를 일관성 있게 공유하며 실시간으로 접근할 수 있다. 이와 같이 구조화되지 않은 데이터들을 구조화하여 데이터베이스화 하는 과정을 데이터모델링이라 한다. 데이터모델링의 주요 산출물로는 1976년 Peter Chen에 의해 제안된 ERD(Entity Relation Diagram)를 들 수 있다. ER Modeling에서 entity는 시스템화 하고자 하는 사물을, attribute는 entity의 성질을 나타내는 기본 단위를, relation은 entity간의 관계를 각각 나타내며, ERD는 이들의 관계를 그림으로 간략하게 표현한 것이다.

중수형 원전의 노심 출력 감시를 위해 필요한 정보들을 크게 구분하면 아래와 같다.

- 채널 및 번들 관련 정보(출력, 연소도 등)
- VFD 계측 정보(calibrated flux 및 mapped flux 등) 및 위치 정보
- Zone statistics
- 제어장치 위치 정보
- RFSP 실행 요약 정보

380개의 채널 및 4560개에 이르는 번들의 개수를 굳이 유념하지 않더라도 이같은 정보들은 매우 방대하며 또한 2분 간격으로 연속 실행되는 RFSP 코드가 한 번 수행될 때마다 계

속해서 생성, 갱신되는 정보들이 많은 부분을 차지하므로, 이들을 노심 감시 측면에서 의미 있는 정보로 활용하기 위해서는 데이터베이스화할 필요가 있다. 이에 이들을 데이터모델링 하기 위해 entity와 relation을 추출하면 다음 [표 1]과 같다.

Entity	설명	Relation	설명
RFSPRun	RFSP 실행 관련 데이터		
Summary	RFSP 실행 관련 요약 정보		
Channel	각 entity 고유의 데이터	Channel_Data	RFSP 코드 실행에 따른 Channel 관련 데이터
Bundle		Bundle_Data	RFSP 코드 실행에 따른 Bundle 관련 데이터
Zone		Zone_Data	RFSP 코드 실행에 따른 Zone 관련 데이터
VFD	각 Device 고유의 데이터	FluxMap_Data	RFSP 코드 실행에 따른 Fluxmap 관련 데이터
		Intrep_Data	RFSP 코드 실행에 따른 Intrep 관련 데이터
ZonePT		ZonePT_Data	RFSP 코드 실행에 따른 ZonePT 관련 데이터
SDS1		SDS1_Data	RFSP 코드 실행에 따른 SORI 관련 데이터
SDS2		SDS2_Data	RFSP 코드 실행에 따른 SOR2 관련 데이터
ADJ	각 Control Rod 고유의 데이터	ADJ_Data	RFSP 코드 실행에 따른 ADJ 관련 데이터
MCA		MCA_Data	RFSP 코드 실행에 따른 MCA 관련 데이터
SOR		SOR_Data	RFSP 코드 실행에 따른 SOR 관련 데이터

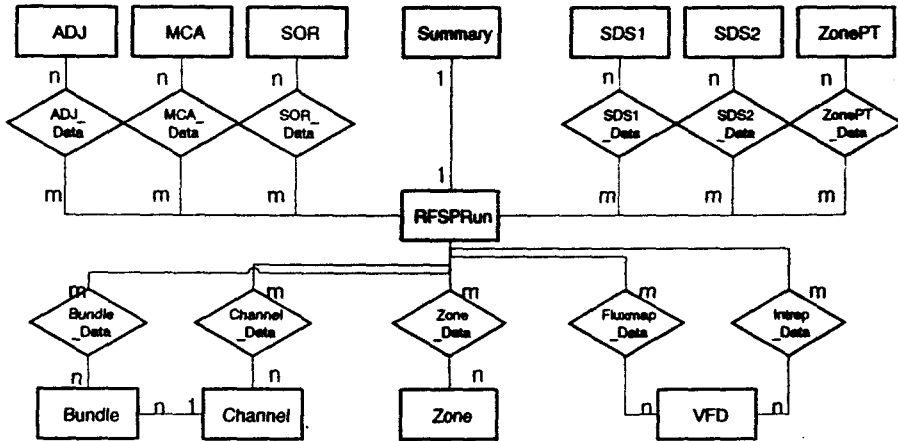
[표 1] CANDU 온라인 출력 감시 시스템 Entity 및 Relation

[표 1]에 나타난 entity들은 RFSP 코드 실행을 나타내는 RFSPRun 및 Summary entity와 RFSPRun 코드 실행과 관계없는 정적인 데이터들을 나타내는 다른 entity 등의 두 가지로 나뉜다. RFSPRun entity는 RFSP 코드 실행을 데이터모델링한 것으로 출력계산시간, 출력 계산에 사용된 RFSP input file 및 그 결과로 나타난 output file, 사용된 DAF file 등의 정보를 나타낸다. RFSP 코드 실행과 관련한 채널 및 번들 최대 출력 등의 요약정보는 Summary entity로 통합하였다. 다른 Entity들은 Channel, Bundle, Zone 등 모니터링 하고자 하는 대상과 기타 detector 및 control Rod들을 나타낸다.

Relation은 기본적으로 두 entity 간의 관계 및 그에 종속되는 특성들을 나타낸다. 이해를 돕기 위해 [표 1]에 나타난 relation의 이름들은 모두 접미어 _Data를 붙였으며, 이들은 각각 앞에 나타난 이름의 Entity와 RFSPRun Entity 간의 관계를 나타내는 것이다. 예를 들어 Channel_Data는 Channel entity와 RFSPRun entity 간의 관계를 나타내는 relation으로, RFSPRun에 저장된 출력계산시간에서의 Channel과 관련된 데이터에 관한 정보를 저장하게 된다. 이와 같은 방식으로 한 번의 RFSP 코드 수행 결과에서 나타나는 정보들은 모니터링 대상에 따라 구조적으로 체계화되어 저장된다. 이들 entity 및 relation의 관계를 그림으로 나타낸 ERD는 [그림 2]와 같다.

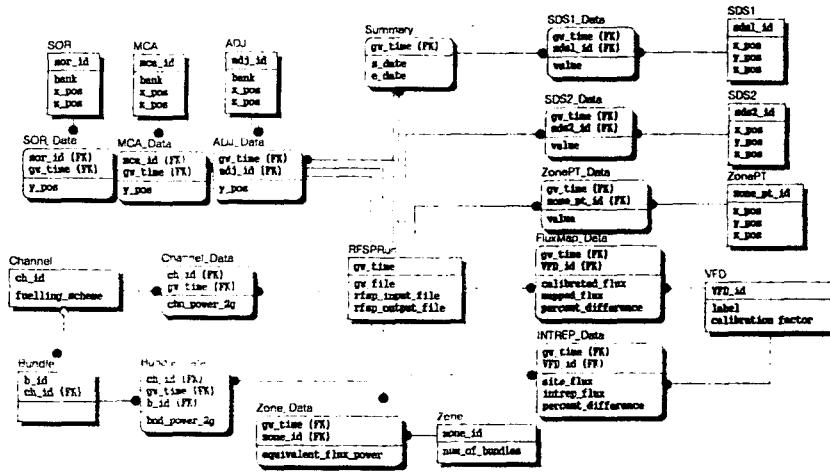
[그림 2]에 나타난 CANDU 출력 감시 시스템의 ERD를 살펴보면 Summary를 제외한 다른 entity는 모두 RFSPRun entity와 n:m의 cardinality를 갖고 있다. 예를 들어 하나의 Channel entity는 여러 RFSPRun의 실행결과로 나타난 데이터를 모두 조회할 수 있어야 하고, 한 RFSPRun의 실행 정보에서는 여러 개(380개)의 채널 관련 데이터를 모두 갖고 있다. 이와 같이 RFSPRun entity와 다른 entity들은 n:m의 관계를 갖고 있기 때문에 이들 관계의 성질을 attribute로 갖는 relation을 갖고 있으며, 본 시스템에서 필요로 하는 대부분의 데이터들은 바로 이 relation의 attribute로 저장된다. Summary entity의 경우는 RFSPRun entity와 1:1의 관계를 갖고 있다. 이와 같은 경우, entity를 분리하지 않고 Summary entity에 속하는 attribute를 모두 RFSPRun entity에 포함시킬 수 있으나, 의미상의 명확한 분류

및 GUI 조회 기능의 간편성을 고려하여 Summary entity로 분리시켰다. 또한 Channel entity와 Bundle entity는 1:n의 관계를 갖고 있는데 이는 하나의 채널에 12개의 번들이 포함되어 있는 사실을 고려한 내용이다. 주목할 점은, VFD entity와 RFSPRun entity의 관계이다. 이들은 둘 사이의 관계를 나타내는 relation을 두 개 갖고 있는데, 이같이 두 개의 entity 사이에 두 개의 관계성이 존재할 때 이를 이중 관계라 한다. Fluxmap_Data와 Intrep_Data는 모두 VFD 관련 데이터이나 RFSP 내부의 수행 모듈이 다르므로(FLUXMAP / INTREP) GUI에서 서로 다른 항목으로 표현해야 하므로 이중 관계로 나타내었다.



[그림 2] CANDU 온라인 출력 계산 시스템 ERD

이와 같은 개념적 설계 단계를 거쳐 생성된 ERD는 논리적 설계 단계에서 테이블로 전환된다. [그림 3]은 CANDU 온라인 출력 감시 시스템 ERD를 근거로 하여 작성한 테이블 구조도이다. 그림에 나타나지 않은 attribute들은 [표 2]에 따로 정리하였다. 기본적으로 ERD의 Entity는 모두 하나의 테이블로 mapping되며, n:m 관계에 나타나는 Relation 역시 별도의 테이블로 표현되어야 한다. 각 테이블에서의 기본키는 ERD에 나타난 기본키를 그대로 따르되, 다른 테이블과의 cardinality에 따라 외래키를 추가해야 한다. 1:1 관계에서는 어느 한쪽의 기본키를 다른 한쪽의 외래키로 설정해야 하며, 1:n 관계에서는 1 쪽의 기본키를 n 쪽의 외래키로 두어야 한다. 또한 n:m 관계에서 생기는 별도의 테이블에는 양측의 기본키들을 합하여 복합 attribute로 만들고, 이를 기본키로 삼아야 한다. 예를 들어 RFSPRun 과 1:1 관계인 Summary table은 RFSPRun table의 기본키인 gw_time을 기본키로 하고 있으며, Channel table과 1:n 관계를 갖고 있는 Bundle table은 Channel table의 기본키인 gw_time, ch_id를 bundle_id와 함께 기본키로 갖는다. 또한 n:m 관계인 Channel table과 RFSPRun table의 관계를 나타내는 Channel_Data 테이블은 양측의 기본키인 gw_time 및 ch_id를 복합한 기본키를 갖는다.



[그림 3] CANDU 온라인 출력 계산 시스템 테이블구조도

Table	Attribute
RFSPrun	*gw_time, gw_file, rfsp_input_file, rfsp_output_file
Channel	*ch_id, fuelling_scheme
Bundle	*ch_id, *bnd_id
Zone	*zone_id, number_of_bundles
VFD	*vfd_id, label, calibration_factor
Zone_PT	*zone_pt_id, x_pos, y_pos, z_pos
SOR1	*sds1_id, x_pos, y_pos, z_pos
SOR2	*sds2_id, x_pos, y_pos, z_pos
ADJ	*adj_id, bank, x_pos, z_pos
MCA	*mca_id, bank, x_pos, z_pos
SOR	*sor_id, bank, x_pos, z_pos
Channel_Data	*gw_time, *ch_id, channel power, channel over power, k increase on refuelling, day of last refuelling, average exit burnup, burnup over T.A. burnup
Bundle_Data	*gw_time, *ch_id, *bnd_id, bundle power, average exit burnup
Zone_Data	*gw_time, *zone_id, equivalent flux power, power, average burnup 등
FluxMap_Data	*gw_time, *vfd_id, calibrated flux, mapped_flux, percent difference
Intrep_Data	*gw_time, *vfd_id, site_flux, intrep_flux, percent difference
ZonePT_Data	*gw_time, *zone_pt_id, value
SDS1_Data	*gw_time, *sds1_id, value
SDS2_Data	*gw_time, *sds2_id, value
ADJ_Data	*gw_time, *adj_id, y_pos
MCA_Data	*gw_time, *mca_id, y_pos
SOR_Data	*gw_time, *sor_id, y_pos

[표 2] 각 Table에 따른 Attribute

*는 기본키

3. 결론

본 연구는 CANDU형 원전의 출력을 상시 감시하기 위한 시스템 개발의 일환으로서, 출력감발시 2분 간격으로 실행되는 RFSP 코드의 실행 결과 파일 중 필요한 데이터를 추출하여 데이터베이스화 함에 있어 복잡한 데이터의 중복을 피하고 간결하면서도 신뢰성 있는 데이터의 효율적인 관리를 위해 수행되었다. 본 연구를 통해 노심의 출력을 실시간으로 감시하여 이상 출력시 사고를 미연에 방지할 수 있을 뿐 아니라 정보의 데이터베이스화를 통해 과거의 자료를 조회하여 그 경향을 분석하고 원인을 파악함으로써 보다 안정된 중수로 운영을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

1. 염충섭, "핵연료 다발/채널 출력 안전 여유도 향상 기술 개발", 2065-RS-02.01, 고등기술연구원, 2001
2. 염충섭, "CANDU 노심에서의 정상상태 출력계산 알고리즘 분석 및 검증 보고서", 2065-MR-01.03, 고등기술연구원, 2001
3. 염충섭, "CANDU 노심 출력감시 시스템 구현을 위한 출력계산 알고리즘 검증", 2002 한국원자력학회 춘계학술대회, 광주, 5, 2002
4. "중수로 개요", 한국전력공사 원자력연수원, 1991
5. "중수로 노심관리", 한국전력공사 원자력연수원, 1994
6. Robert vieira, "Professional SQL Server 2000 Programming", Wrox Press, 2001
7. Chen, P., 1976, "The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data", ACM Transaction on Database System, Vol. 1, No. 1, March 1976, pp. 9-36.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 지원한 CANDU 원전운전 안전성 향상 연구의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.