

MATLAB/Simulink를 이용한 화력발전소 복수펌프 순환기동로직 시뮬레이션 구현

윤창선*, 홍연찬
¹인천대학교 전자공학과

Simulation Implementation of Fossil Power Plant Condensate Pumps' Rotation Operation Logic Using MATLAB/Simulink

Chang-Sun Yoon*, Yeon-Chan Hong¹

¹Department of Electronics Engineering, Incheon National University

요약 기존 국내 외 연구를 통해 개발된 펌프 운전 시뮬레이터는 대부분 동역학적 해석을 목적으로 하거나 운전자 교육용을 목적으로 개발되어 왔다. 그런데 기존 시뮬레이터는 운전자 위주로 구성되어 있어서 로직 설계자나 시운전 참여자들이 다양한 운전조건 또는 로직을 임의로 변경하기에는 적절하지 않다. 더욱이 최근 발전소에서 사용되는 두 개 이상의 복수펌프 운전에 대해 설계자나 운전자가 쉽게 활용할 수 있는 시뮬레이터는 개발되어 있지 않다. 그래서 본 논문에서는 MATLAB Simulink를 사용하여 일반적인 화력발전소에 주로 사용되는 복수펌프 3대에 대한 순환운전 로직에 대해 설계자나 운전원이 쉽게 사용할 수 있도록 시뮬레이션을 할 수 있는 방법을 제안 한다. 이 제안은 MATLAB을 사용할 수 있는 사용자가 발전소 DCS(Distributed Control System) 로직에 주로 사용되는 ANSI/ISA S5.2를 Simulink를 통해 구현할 수 있도록 도움을 준다. 또한 코드에 명시된 로직을 구현하기 위해 블록에 대한 Sub-System을 만들고 이를 시뮬레이터 내에서 적용이 가능한지를 검증한다. 제안된 방법을 이용한 실무 검증 단계에서는 로직 내에서 발생한 기동신호를 구현된 펌프 모델에 적용하여 3대 펌프 순환운전 시 발생할 수 있는 모든 오류 가능성을 제안된 시뮬레이터를 사용하여 설계 단계 및 운전 전에 검증할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract The simulators for pump operation developed by domestic or overseas research have been developed for dynamic analysis or operator training purposes. However, previous developed simulators focused on the operators so they are unsuitable for logic designers or commissioning engineers who need to change the operation conditions or logics arbitrarily. In addition, the simulator for two or more condensate pumps' operation, which can be used easily by plant designers or operators, has not been developed. Accordingly, this paper suggests a simulation method that can be used easily for plant designers or operators using MATLAB Simulink. This suggestion helps users who can use MATLAB to implement ANSI/ISA S5.2, which is applied mainly for DCS (Distributed Control System). In addition, to implement the logics specified in the CODE, Sub-Systems were created for the block and evaluated to determine if they can be used in the simulator. In the working level stage using the suggested method, all error possibilities that might occur during the three pumps' rotation operation could be verified with the suggested simulator during the design stage or before operation.

Keywords : Condensate Pump, DCS Logic, Logic Simulation, MATLAB Simulation, Rotation Operation

*Corresponding Author : Chang-Sun Yoon(Incheon Univ.)

Tel: +82-32-835-4769 email: cyoon36@gmail.com

Received October 30, 2015

Revised (1st December 8, 2015, 2nd December 22, 2015)

Accepted January 5, 2016

Published January 31, 2016

1. 서론

기존 국내 외 기관들에 의해 개발된 발전소 시뮬레이터는 대부분 동역학적 해석을 목적으로 하거나 운전자 교육용을 목적으로 개발되어 왔다. 일부 전용 소프트웨어가 개발되어 사용되고 있고, 미국의 경우 상용 S/W를 이용하여 펌프를 시뮬레이션 하고 있다[1]. 전용 프로그램의 경우 상대적으로 고 비용 으로 구매되어야 하지만 실무에 적용하기 위한 로직 검증에 의해 이를 사용하기에는 여러 가지 어려움이 따른다.

본 논문에서는 MATLAB/Simulink를 이용하여 발전소 로직에 주로 사용하는 ANSI/ISA S5.2[2]를 구현하고, 구현된 로직을 통해 국내 500MW 이상의 발전소에 대부분 사용되는 발전소 복수펌프 3대 운전을 위한 로직 검증 시뮬레이션 방법을 제안한다. 시뮬레이션은 펌프 선택 기능이 구현되고 각 펌프에 대한 Running Status와 Lead/Lag 조건, 트립 조건에 따라 자동으로 펌프 기동신호가 발생하도록 하며, 발생된 신호가 모터를 회전시켜 펌프 후단 압력을 발생시킨 후 그 압력의 변화를 관찰할 수 있도록 구현된다. 사용자는 구현된 로직을 자유롭게 변경하며 새로운 기능을 시험해 볼 수 있고, 각종 상황에 대해 실험한 후 그 값을 분석하여 실제 펌프 기동로직 설계 및 운전에 활용할 수 있다. 시뮬레이션을 구현하기 위해 ANSI/ISA S5.2를 재해석하여 별도의 Sub-System을 Block화하고 각종 Binary Gate등은 Simulink에서 제공하는 Block을 사용하였고, 일부 수학 계산에 사용되는 Block은 신호 변환을 통해 ANSI/ISA S5.2 로직개념대로 동작하도록 구현 하였다. 3대의 펌프 동작을 구현하기 위한 펌프 모델링은 MATLAB에서 제공하는 Pump Block을 발전소 펌프 특성에 맞도록 파라미터를 조정하여 사용하였다.

2. 본론

2.1 개요

MATLAB은 일반적으로 수치계산, 제어 시스템의 계산 등에 활용되는데, MATLAB 내에서 제공하는 Simulink는 기능적 블록(Functional Block)을 기본으로 MATLAB의 기능을 활용할 수 있는 시뮬레이션 기능을 통해 전자, 전기, 기계 등 산업 분야에서 활용될 수 있다.

국내 화력발전소의 제어는 주로 DCS (Distributed

Control System)를 사용하여 각종 계측기, 모터 및 펌프 등을 제어한다. 발전소 내에 적용된 수많은 제어 요소들을 제어하기 위해 DCS 내부에 사용되는 로직을 설계해야 하는데 로직을 표현하기 위해서는 ANSI/ISA S5.2를 주로 사용하고 있다. 그런데 이 로직을 검증하기 위해서는 별도의 Simulation Tool을 사용하거나 DCS를 통해 직접 검증해야 하는데 설계단계에서 이를 검증하기 위해 이러한 프로그램을 사용하기에는 비용 및 프로그램 라이선스 취득 등의 어려움이 동반된다. 특히 3대 이상의 펌프 동작을 위한 로직 설계에는 수많은 경우의 수가 발생하는데 모든 케이스에 대한 동작 상태를 확인하기 위해서는 시뮬레이션을 통한 설계가 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 MATLAB 내부 Binary Logic의 경우 DCS에서 주로 사용하는 블록이 모두 구현되어 있지는 않다.

국내 기저부하를 담당하는 국내 500MW 이상의 발전소에서 운용되고 있는 50% 부하 3대에 대한 순환기동로직은 각 발전소 현장 상황에 맞게 자동 및 수동으로 운영되고 있지만, 한 번 정상 기동된 후에는 별도의 조작 없이 장기간 운전되기 때문에 순환기동로직 구현을 위한 별도의 틀이 일반화 되어 있지는 않다.

2.2 복수계통 및 복수펌프

발전소 복수계통(Condensate System)은 터빈 배출증기와 급수펌프터빈 배출증기를 복수기에서 응축시켜 핫트웰(Hot-well)에 모아서 복수펌프와 복수승압펌프에 의하여 글랜드스팀 콘덴서, 복수탈염설비, 저압급수가열기를 거쳐 탈기 및 급수저장탱크로 보내는데, 복수펌프는 50% 용량 3대(단일속도 전동기)로 구성되고 복수기 핫트웰 에서 취수한 복수를 복수승압펌프, 탈기 및 각 복수 소요처에 공급하는 역할을 한다. 복수펌프는 병렬 운전 및 단독운전이 가능하며 정상운전 시 두 대의 펌프가 운전되고 한 대는 예비용(Stand-By)이다[3]. 특히, 발전플랜트의 복수 펌프(Condensate Pump)는 터빈발전기의 부하(Load) 및 유체의 온도 등 운전 조건 파라미터에 따라 영향을 미칠 수 있는 설비이고 복수펌프가 제대로 운전되지 않을 경우 발전소 트립이 발생하기 때문에 복수펌프를 로직 적으로 안정적인 운전이 될 수 있도록 구현하고 검증하는 작업은 매우 중요하다고 할 수 있다[4].

2.3 복수펌프 순환기동

라인업(Line-Up)은 총 3개의 모드로 구성되며, Lead

펌프는 라인업 조건에 의해 정해진다. 라인업은 운전원이 선택할 수 있으며 라인업 조건에 따라 Lead 펌프와 Lag 펌프가 결정된다. Lead 펌프 기동신호는 라인업 Lead 조건에 해당하는 AND 게이트를 통해 Lead 펌프 기동 신호를 발생시킨다. 마찬가지로 Lag 펌프 기동신호도 Lag 펌프와 연결된 AND 게이트를 통해 발생된다. 트립은 Lead 펌프 동작 시 또는 Lead, Lag 두 펌프가 운전될 경우로 나뉜다. 그룹운전모드에서 Lead 펌프 동작 중 Fail시 자동으로 정해진 다음 펌프로 기동신호가 발생하고, 트립 펌프를 뺀 나머지 펌프들로 Lead, Lag가 구성된 라인업으로 자동 절체 된다[5]. 라인업 구성은 Table 1과 같다.

Table 1. Condensate Pump Line-Up Operation

	LINEUP-1	LINEUP-2	LINEUP-3
PUMP A	LEAD	STAND-BY	LAG
PUMP B	LAG	LEAD	STAND-BY
PUMP C	STAND-BY	LAG	LEAD

라인업에 대한 시뮬레이션 구성은 Fig. 1과 같다. 본 시뮬레이션에서는 운전원이 조작해야 하는 각종 조건들을 Manual Switch를 사용하여 실시간 시뮬레이션이 가능하도록 구현하였다.

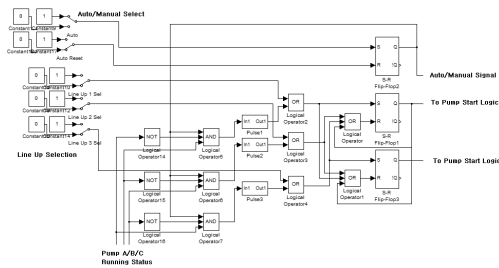


Fig. 1. Line-Up Selection

세 대의 펌프는 발전소 부하에 따라 Lead 펌프가 우선적으로 운전되고 일정 부하 이상이 되면 Lag 펌프가 운전되도록 구성 된다. 나머지 한 대의 펌프는 Stand-By 펌프로서 Lead 또는 Lag 펌프가 운전 중 또는 기동 시 문제가 생겼을 경우 기동 되도록 구성 된다.

발전소를 최대 부하로 운전하기 위해서는 두 대의 복수펌프가 동시에 운전되어야 하며 한 펌프 트립 시에 자동으로 Stand-By 펌프가 기동하도록 하기 위해서는 해

당 기능을 구현하는 로직이 필요하다. 펌프 구동 시 문제가 발생했을 경우 대기 펌프로 절체 되는 로직은 Fig. 2와 같다.

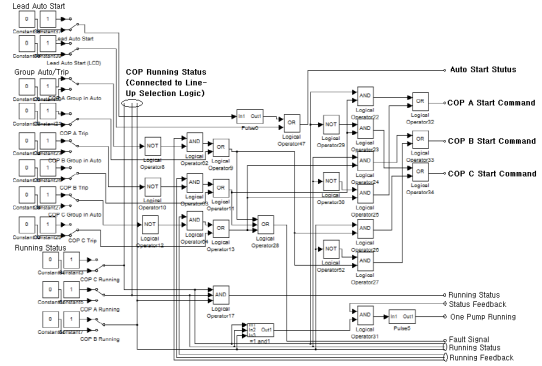


Fig. 2. Lag/Stand-by Operation Function

세 대의 펌프 헤더 후단에는 복수승압펌프(Condensate Booster Pump)가 구성되며 펌프를 돌리기 위한 많은 선행조건들과 펌프의 기동순서에 따른 경우의 수를 고려하면 검증해야 할 많은 부분이 존재하며, 로직 개선을 위한 설계 시에도 시뮬레이션의 사용은 매우 유용하다 할 수 있다.

펌프 기동신호에 대한 로직 구성은 Fig. 3과 같다. 게이트 전단 조건을 모두 만족할 경우 S-R Latch를 통해 '1' 신호를 발생하고 이 신호는 펌프 기동신호로 사용된다. 신호 발생 상황은 Fig. 3의 Indicator를 통해 확인할 수 있다.

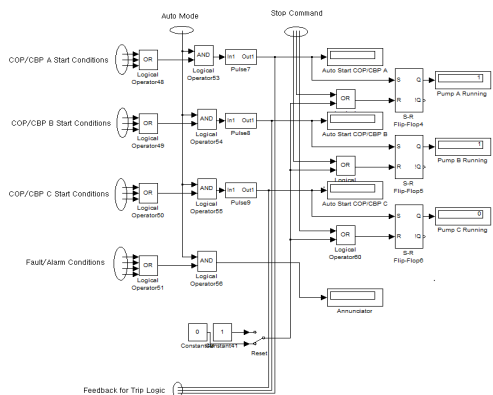


Fig. 3. Pump Operation Signal Generation

2.4 ANSI/ISA S5.2 Logic 구현을 위한

Sub-System 구현

MATLAB에서 기본적으로 제공하는 AND, OR, NOT Gate 등은 시뮬레이션에서 그대로 사용 될 수 있다. 하지만 플랜트 발전소 로직 구현에 필수적인 Time Delay, Pulse Block, S-R Latch등은 MATLAB 내에서 제공하는 Block과 그 기능면에서 조금 상이하여 프로세스 Logic에 적용하기 어렵다. 본 논문에서는 ANSI/ISA 5.2 에서 사용되는 On-Delay 블록과 Pulse 기능을 MATLAB에서 구현 되도록 Fig. 4와 Fig. 6과 같은 Sub-System을 제안한다. 구현된 Sub-System은 독립된 블록으로 구현되어 시뮬레이션 내에서 제한 없이 사용될 수 있다. 각 Sub-System의 Step 입력에 대한 파형은 Fig. 5, Fig. 7과 같으며 Delay/Pulse 시간은 시뮬레이션 특성에 맞게 변경할 수 있다.

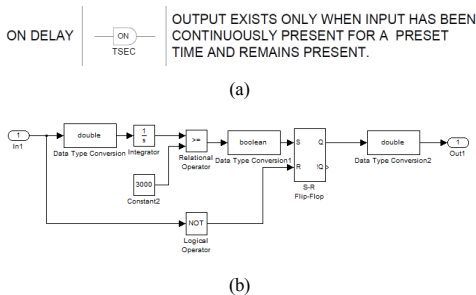


Fig. 4. Sub-System for On-Delay Logic
(a) Description for 'ON DELAY' in ANSI/ISA 5.2
(b) Designed Logic for 'ON DELAY'.

Fig. 4는 ANSI/ISA-S5.2의 'ON DELAY'[2] 기능을 MATLAB으로 구현한 구성도이다.

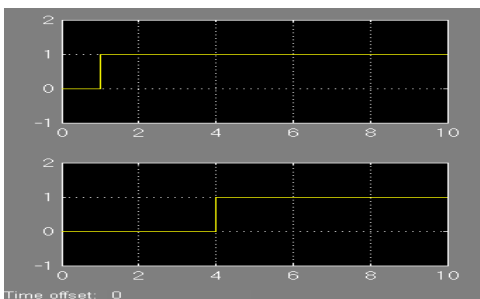


Fig. 5. On-Delay Sub-System Wave Form

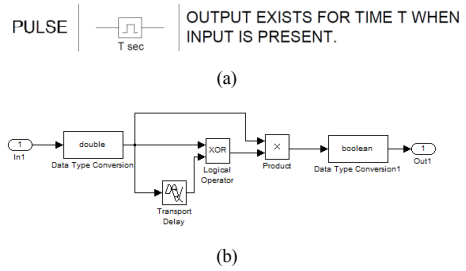


Fig. 6. Sub-System for Pulse Logic
(a) Description for 'PULSE' in ANSI/ISA 5.2
(b) Designed Logic for 'PULSE'.

Fig. 6은 ANSI/ISA-S5.2의 'PULSE'[2] 기능을 MATLAB으로 구현한 구성도이다.

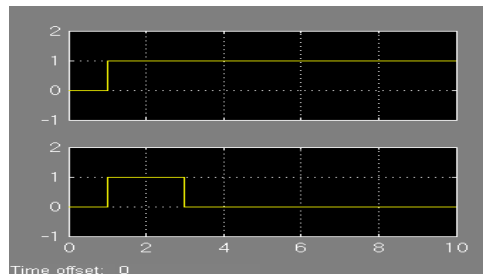


Fig. 7. Pulse Sub-System Wave Form

위의 모든 기능을 조합하여 구성한 복수펌프 기동 및 순환기동로직을 MATLAB으로 구현한 로직은 Fig. 8과 같다.

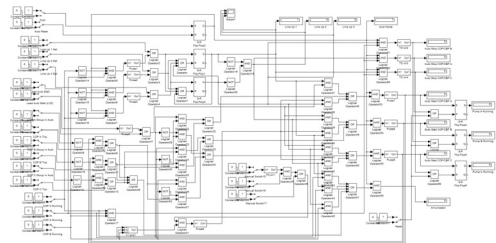


Fig. 8. Logic for Condensate Pumps Group Operation

2.5 펌프 모델링

본 논문에서 제시한 모델링의 대상은 펌프, 밸브, 배관 등이다. 본 연구의 모델은 펌프 제어 및 운전상황 예측 등에 활용할 시뮬레이터를 개발하는 것이므로 동적 거동이 실제와 유사할 수 있는 물리적 모델이어야 한다. 이러한 관점의 동적 모델 개발에 관해 많은 연구가 진행

되었으나 MATLAB에서 사용할 수 있는 가장 최적의 모델을 사용하기로 한다[7-9].

MATLAB에서 제공하는 펌프 모델은 파라미터를 다르게 적용함으로써 그 특성을 자유롭게 변경할 수 있다. 펌프에 대한 근사식은 주어진 펌프, 각속도 및 액체 특성에 대해 Euler 방정식을 통해 아래와 같이 유도될 수 있다[9-10].

$$p_{ref} = k \cdot p_E - p_{HL} - p_D \quad (1)$$

식(1)에서 p_{ref} 는 펌프를 통과하는 압력차이고 이 수치는 기준 각속도와 밀도에 따라 변화한다. 우변식의 k 값은 펌프 내부에서 발생할 수 있는 블레이드 체적, 유체 내부 마찰 등을 보정할 수 있는 보정 계수이다. p_E 는 Euler 압력이며 p_{HL} 은 펌프 통로 내에서 유압 손실로 발생할 수 있는 압력 손실이다. p_D 는 정해진 펌프 정격 값 대비 펌프 토출의 편차로 인한 압력 손실이고, p_E 는 Euler식에 의해 결정 된다. 펌프 크기를 고려할 때 일정한 각속도 및 특정 유체 에서의 압력은 Euler 방정식을 통해 아래와 같이 근사할 수 있다[9-10].

$$p_E = \rho_{ref}(c_0 - c_1 \cdot q_{ref}) \quad (2)$$

식(2)에서 ρ_{ref} 는 유체의 밀도이고, c_0, c_1 는 근사계 수로서 Euler식을 분석하거나 실험을 통해 유추하여 사용할 수 있다. q_{ref} 는 펌프 체적 운송 값이다. 펌프 내부에서는 유체와 블레이드 간 마찰 등으로 인해 압력 손실이 발생하는데, 특정 유속에 따른 발생하는 압력 편차(PD)는 아래 식과 같이 유추할 수 있다[9-10].

$$p_D = \rho_{ref} \cdot c_3(q_D - q_{ref})^2 \quad (3)$$

식(3)에서 열거한 식으로부터 펌프 전 후단 압력의 관계는 아래 식으로 표현될 수 있다.

$$p_{ref} = \rho_{ref}(k(c_0 - c_1 q_{ref}) - c_2 q_{ref}^2 - c_3 (q_D - q_{ref})^2) \quad (4)$$

식(4)는 MATLAB에서 제공하는 펌프 블록 특성을 나타내며, 파라미터를 변경함으로써 발전소 복수펌프의 실제 특성과 유사한 특성을 보이도록 조정할 수 있다.

순환기동로직으로부터 발생한 기동 신호는 Switch를 동작시킴으로써 모터를 구동 한다(Fig. 9).

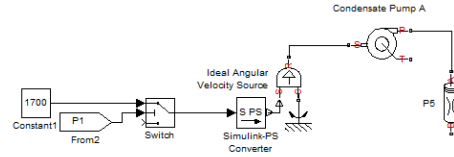


Fig. 9. Condensate Pump Modeling

Fig. 9에서 펌프의 T는 펌프 전단 배관에 연결되는 흡입 단이며, P는 펌프 후단에 연결되는 배출 단이고, S는 펌프 드라이브 측에 연결된 기계적 회전체와 연결된 포트이다.

2.6 펌프 순환기동 시뮬레이션

2.5장에서 구성된 펌프 모델링으로 복수펌프 3대에 대한 모델을 구성하면 Fig. 10과 같다.

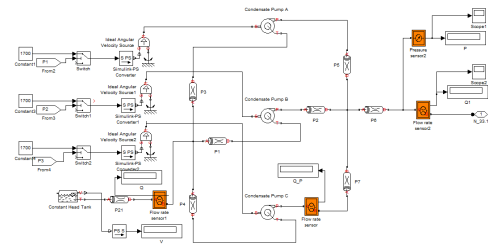


Fig. 10. Three Condensate Pumps Modeling

Fig. 10에 따라 구성된 시뮬레이션을 이용해 Stand-By 펌프가 기동되는 시점에 따른 복수펌프 후단 헤더(Header)압력의 변화를 시뮬레이션 하였다.

Table 2. Condensate Pump Basic Data

Data Type, Unit	Specification
Rated Capacity, m3/h	1228
Total Differential Head, m	125
Pump speed, rpm	1780
NPSH required, m	5.6
Discharge pressure, bar	12.5

Table 2는 펌프 모델링을 위한 실제 펌프 사양에 대한 Data이다. 모델 펌프는 기동 신호를 받아 1700rpm으

로 회전하도록 구성하였다. 회전하는 펌프 후단의 헤더 압력은 펌프 후단 조건에 따라 압력이 형성된다.

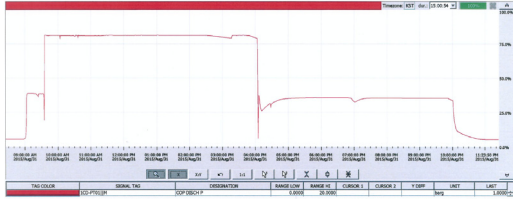


Fig. 11. Real Plant Data for Condensate Pumps

Fig. 11은 실제 플랜트의 복수펌프 기동에 따른 복수 펌프 후단 압력에 대한 Trend이다. 그래프는 Lead 펌프를 기동 후 Lag 펌프를 기동한 뒤 Lag 펌프를 정지하고 Lead 펌프를 정지하는 과정을 보여준다. 그래프에서 각 펌프 기동 및 정지 시 압력 변화를 확인할 수 있다. 본 논문에서 수행한 시뮬레이션은 Fig. 11의 초반부의 펌프 2대 순차 기동을 가정하였다. Lag 펌프가 운전 중 갑작스런 이상으로 인해 트립 되고 Stand-By 펌프가 자동으로 절체 되는 상황을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였고 전 과정에 대한 헤더의 압력 변화를 측정하였다.

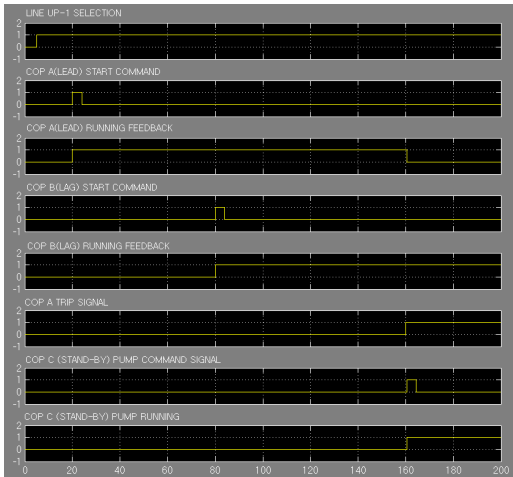


Fig. 12. Major Digital Signals of Simulator

Fig. 12는 시뮬레이션 중 발생하는 주요 디지털 신호에 대한 파형을 보여준다. 각 펌프의 기동 시점에서 기동 펄스가 발생하며 펄스에 따라 기동된 펌프의 피드백을 확인할 수 있다. 160초 시점의 펌프 트립 신호는 임의로 발생시켰으며 펌프 트립 신호에 따른 Stand-By Pump가

기동됨을 확인할 수 있다. Fig. 12에 따라 기동되는 펌프의 토출 압력은 Fig. 13과 Fig. 14에서 확인할 수 있다.

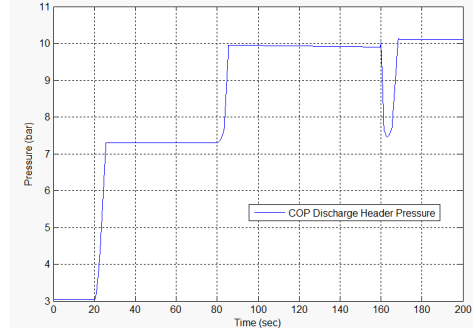


Fig. 13. Stand-By Pump Operation (Case 1)

Fig. 13의 20초 시점에서 기동된 Lead 펌프는 수 초 안에 1700rpm에 도달하고 펌프 후단 조건에 따라 약 7.3bar를 유지한다. 실제 펌프 운전에서는 헤더 후단의 밸브의 개도 및 복수펌프 후단에 설치된 복수승압펌프 전단 압력 조건에 따라 압력이 변하게 된다. Lead 펌프 기동 후 약 60초 후(그래프 80초 시점)에 Lag 펌프가 기동함에 따라 헤더 압력은 10bar 까지 상승한다. Fig. 13의 160초 시점에서 펌프의 트립을 가정한 강제 트립을 발생시키고 Stand-By 펌프가 약 10초 내에 재 기동하며 변화하는 헤더 압력 변화를 160초와 170초 사이에서 확인할 수 있다.

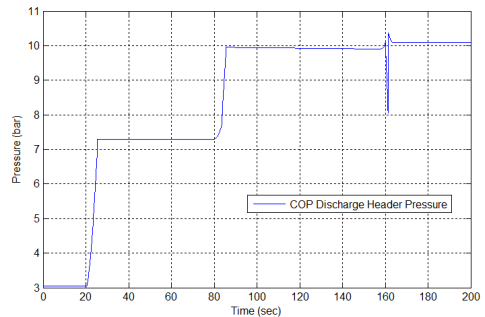


Fig. 14. Stand-By Pump Operation (Case 2)

Fig. 14의 160초 시점은 Fig. 13과 동일 조건에서 Stand-By 펌프가 3초 이내 재 기동됨을 가정한 시뮬레이션이다. 펌프 기동 간격에 따른 변화를 Fig. 13과 비교할 수 있음을 확인할 수 있다.

결과적으로 Lead, Lag 펌프 기동 시 발생하는 압력변화 및 펌프 트립 시 Stand-By Pump 기동시점 변화에 따른 펌프 후단 헤드 토출압력 변화를 본 논문에서 제안한 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있음을 증명하였다.

3. 결론

본 논문은 MATLAB을 이용하여 Binary 로직과 제공된 라이브러리 내 펌프를 연동하여 실제 발전소 복수펌프의 순환 기동에 대한 시뮬레이션이 가능하며, 펌프가 순차적으로 기동 하고 펌프 한 대가 트립 되었을 때 Stand-By 펌프가 기동하는 전 과정에서의 압력 변화를 확인할 수 있음을 보였다. 구현된 로직의 Auto/Manual, 펌프 Selection, Running Status 등 실제 운전 시 발생하는 수많은 조건은 Manual Switch를 통해 설계자 또는 운전원이 각종 운전 조건을 바꾸며 손쉽게 실시간 시뮬레이션을 할 수 있으며, 이를 통해 로직 검증 및 로직 개선 작업을 용이하게 할 수 있을 확인되었다. 추가적으로 필요한 발전소 복수펌프 기동 시점에 대한 연구는 발전소 부하 및 각 펌프 기동 시 영향을 받는 시스템들을 종합적으로 고려하여 적용되어야 하며, 본 연구를 토대로 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다.

compression cycle with shut-down and start-up operations”, International Journal of Refrigeration, Vol. 33, pp. 538-552, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.09.011>

[8] McKinley, T. L. and Alleyne, A. G., “An advanced nonlinear switched heat exchanger model for vapor compression cycles using the moving-boundary method”, International Journal of Refrigeration, Vol. 31, pp. 1253-1264, 2008.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2008.01.012>

[9] T. G. Hicks, T.W. Edwards, “Pump Application Engineering”, McGraw-Hill, NY, 1971.

[10] I. J. Karassic, J.P. Messina, P. Cooper, C.C. Heald, “PumpHandbook”, Third edition, Mc Graw-Hill, NY, 2001.

윤 창 선(Chang-Sun Yoon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 ~ 2015년 12월 : 인천대학교 대학원 전자공학과 (박사과정)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국전력기술(주) 책임기술원

<관심분야>

제어계측, RFID, 정보통신

References

- [1] Y. M. Jeong, C. S. Jeong, H. S. Kim, C. D. Lee and S. Y. Yang, “A Study on Hydraulic Simulation for Excavator using MATLAB /Simscape”, KFPS Conference S5-1, pp. 95~100, 2009.
- [2] “American National Standard, ANSI/ISA-S5.2- 1976 (R1992), Binary Logic Diagrams for Process Operations”, ISA, 1992.
- [3] “Condensate System Description for Fossil Power Plant 500MW”, KEPCO-E&C, 2005.
- [4] W. E. Nelson, J. W. Dufour, 1980, “Pump Vibration”, Proceedings of 9th Turbor machinery Symposium, pp. 137-147, 1980.
- [5] “Condenser System Functional Group Control” Control Logic Diagram of Fossil Power Plant 1000MW”, KEPCO-E&C, 2013.
- [6] Y. Shin, J. H. Kim, B.J Yoo, “Dynamic Modeling and Simulation of a Hybrid Heat Pump”, Korean Journal Of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 25(7), 406-412, pp. 7, 2013.
- [7] Li, B. and Alleyne, A. G., “A dynamic model of a vapor

홍 연 찬(Yeon-Chan Hong)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 1992년 2월 : 순천향대학교 전자공학과 전임강사
- 1992년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

제어계측, RFID, 홈네트워킹