

한국형 원자력발전소 펌프실 면적 산정 방안

이효승, 고철균*, 문승재**†
한국전력기술, *(주)리우스, **한양대학교 기계공학부

Determination of Sizes of the Pump Rooms in Korean Nuclear Power Plants

Hyo-Sung Lee, Churl-Kyun Koh*, Seung-Jae Moon**†

KEPCO Engineering & Construction Co., Inc., Yongin 446-713, Korea

*LeeWoos Co., Ltd., Seong-Nam, 462-721, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received April 12, 2013; revision received April 19, 2013)

초 록 : 펌프실 내 펌프가 1대 배치되는 경우 펌프 동력과 펌프기초 면적이 주어지면 펌프실 면적을 찾을 수 있다. 다만, 일부 펌프는 펌프와 발전소 배치 특이성에 따라 펌프실 면적이 결정된다. 그러나 펌프실 내 펌프가 2대 배치되는 경우 펌프 동력과 펌프기초 면적을 이용한 펌프실 면적을 구하는 연계관계를 찾을 수 없다. 그리고 펌프 동력과 펌프기초 면적의 연계관계도 찾을 수 없다.

ABSTRACT : For areas installed with one pump, the trend for expected sizes of pump room areas is observed once pump power and floor dimensions are provided. However, these pump rooms with auxiliary charging pumps, turbine driven auxiliary feedwater pumps, and pump rooms with a separate valve room have unique ways to determine the pump room area. No definite trends are identified for areas installed with two pumps using pump power and floor dimensions. The relationship between pump power and floor dimensions is also unable to be found.

Key words : pump power(펌프 동력), pump floor dimension(펌프기초 면적), pump room size(펌프실 면적)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

원자력발전소의 발전설비건물 기기실은 홍수, 태풍, 지진 등과 같은 자연재해로부터 안전 설비 및 계통들을 방호할 수 있도록 1,000여 개의 격실로 구성되어 있다. 방

사성 물질을 함유하는 기기의 경우 운전원과 정비원의 방사성 피폭을 최소화하기 위해 별도의 밸브실을 설치하며 출입구를 미로형 형태로 배치한다¹⁾.

최근 원자력발전소의 건물 및 기기배치 설계 시 건물 크기를 축소하여 경제성을 향상시키고자 노력하고 있으며, 이에 따라 펌프와 탱크 및 열교환기 등의 기기실 크기를 축소 배치하는 경향을 보이고 있다. 그러나 기기실 크기는 기기 및 관련 설비의 배치 공간과 운전 및 정비 공간을 고려해야 하므로 무조건 축소할 수 없다.

미국 원자력안전센터가 발행한 보고서에 의하면 가압경수로형 원자력발전소의 경우 밸브 다음으로 펌프 고장

† Corresponding author
Tel. +82-2-2220-0450; Fax +82-2-2220-2299
E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

빈도가 높다²⁾. 따라서 이 연구에서는 원자력발전소의 발전설비건물 내 설치되는 여러 기기 중 주요 기기이며 수량이 많은 펌프실 크기 산정에 관한 분석을 하고자 한다. 그런데 펌프실 크기를 결정하는 정형화된 기준이 없어 기존 경험사례를 참고하여 여러 번의 시행오차를 통해 펌프실 크기가 결정된다. 따라서 많은 시간이 투자되고 개인능력 편차에 따라 결과가 달라지는 실정이다.

이런 어려움을 해결하며 사업 초기 기본설계 단계에서 필요한 펌프실 면적을 예측하기 위해 펌프 동력 및 펌프기초 면적과 연계한 펌프실 면적 산정 방안을 찾고자 한다.

1.2 연구 방법

건물 및 기기배치 설계수행 시 수집한 설계데이터를 활용하여 펌프실 면적을 결정하기 위해 고려될 항목으로 예상되는 펌프 동력, 펌프기초 면적, 펌프실 면적, 별도의 밸브실 설치여부, 미로형 출입구 포함 여부 등의 내용을 조사하여 분류하였다. 펌프 동력 및 펌프기초 면적이 펌프실 면적과 어떤 연계관계가 있는지 분석하기 위해 펌프 동력 대비 펌프실 면적과 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적으로 나눠 데이터를 분석하였다. 그리고 펌프동력과 펌프기초 면적의 연계관계도 분석하였다.

2. 펌프 설치 환경

2.1 펌프 및 관련기기 구성 및 배치

펌프 운전을 위해 필요한 구성기기는 펌프 및 모터, 인양설비, 냉방기, 덕트 및 지지대, 그리고 배관 및 지지대가 있다.

펌프를 배치하기 위해 운전원과 정비원의 접근성 및 펌프와 모터의 정비공간을 고려하여 충분한 면적이 확보되어야 하며 연결되는 배관 및 지지대를 고려해야 한다. 펌프의 용량에 따라 인양설비의 설계 개념이 달라진다. 보수 작업이 필요한 펌프의 주요 부품 무게가 정비원이 직접 운반할 수 있는 한계를 넘을 경우 펌프 상부에 적절한 인양설비를 배치한다¹⁾. 필요 시 냉방기는 펌프실 상부에 설치하거나 펌프실 여유공간을 활용하여 배치한다. 그리고 덕트는 펌프실 상부에 덕트 지지대와 함께 배치된다. 펌프와 연결되는 배관과 지지대는 펌프

주변에 위치하므로 정비를 위한 장비의 이동에 방해되지 않고 펌프 상부에 설치된 인양설비의 운전공간을 피하여 배치해야 한다¹⁾.

2.2 운전원의 접근공간과 정비공간 배치

펌프의 정비공간은 충분히 확보되어야 하며 가동중 검사를 위해 펌프 주변에 최소한 1명 또는 2명의 작업자가 출입할 수 있는 접근로와 시험장비의 이동통로를 확보해야 한다¹⁾. 펌프 주변의 통로 폭은 1.5 m 이상 확보하는 것이 좋다³⁾. 펌프실의 정비공간은 펌프 주요부품을 펌프실 내에서 정비작업을 수행할 것인지 아니면 별도의 기기공작실로 옮겨 작업을 수행할 것인지에 따라 크기가 결정된다. 그리고 해체작업을 위한 하역공간이 펌프 주위에 확보되어야 한다²⁾.

3. 펌프실 면적 분석 및 산정 방안

3.1 펌프실 면적 결정 인자

펌프실 면적은 펌프 설치면적, 냉방기 설치면적, 인양설비 설치면적, 운전원 및 정비원의 접근면적, 펌프 구성품 정비면적, 배관 및 지지대 배치면적, 덕트 및 지지대 배치면적을 고려하여 결정한다. 그런데 사업 초기 기본설계 단계에서 건물 및 기기배치 설계 시 위에서 언급한 각각의 면적을 계산하여 펌프실 면적을 산정하는 것은 쉽지 않다. 배관 크기는 펌프용량에 따라 결정되므로 배관 배치면적도 펌프용량에 따라 결정된다. 그리고 펌프 구성품 정비면적은 펌프기초 면적에 비례하여 결정된다. 펌프 구성품 정비면적과 배관 및 지지대 배치면적은 펌프기초 면적에 포함하여 계산하는 것이 가능하다. 인양설비 설치면적과 덕트 및 지지대 배치면적은 펌프실 상부에 배치되므로 펌프실 면적 결정 시 제외할 수 있다. 그리고 냉방기는 펌프실 상부에 배치되거나 이미 확정된 펌프실의 여유공간을 활용하므로 펌프실 면적 결정 시 제외시키는 것이 가능하다. 건물 및 기기배치 설계 시 운전원 및 정비원의 접근성을 고려하여 펌프실 면적을 산정하여야 한다. 그런데 이 접근면적은 기존 발전소 펌프실 면적 데이터에 이미 포함되어 있으므로 이 연구에서는 펌프 동력 및 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 연계관계만 고려하여 펌프실 면적 산정 방안을 찾아보았다.

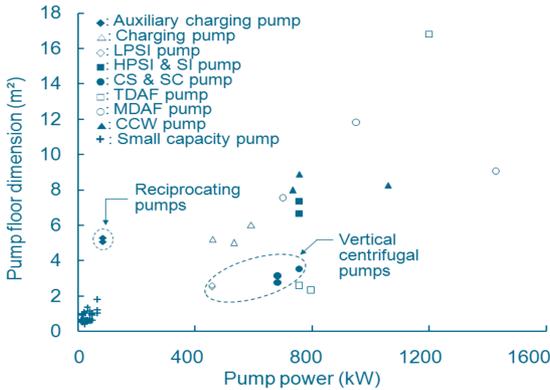


Fig. 1 Relation between pump power and pump floor dimension

3.2 기존 발전소의 펌프실 면적

펌프실 면적을 산정하기 위해 수집한 펌프 동력, 펌프 기초 면적과 펌프실 면적 데이터는 밸브실과 미로형 출입구 유무에 따라 펌프실 면적의 크기가 다르므로 밸브실과 미로형 출입구 유무를 포함하여 조사하였다.

3.3 펌프 동력과 펌프기초 면적 관계

펌프 동력 대비 펌프기초 면적의 연계관계를 분석하기 위해 Fig. 1과 같이 그래프를 도시하였다. 펌프기초 면적이 2 m² 이하인 펌프의 경우 펌프 동력 대비 펌프기초 면적이 밀집하여 분포되므로 펌프기초 면적이 2 m² 이상인 펌프를 대상으로 분석하였다.

수직 원심형 펌프인 저압안전주입펌프(Low Pressure Safety Injection pump; LPSI pump), 원자로건물살수 펌프(Containment Spray pump; CS pump), 정지냉각펌프(Shutdown Cooling pump; SC pump)는 동일한 펌프 동력의 수평 원심형 펌프에 비해 펌프기초 면적을 작게 차지한다. 왕복동 펌프인 보조충전펌프(auxiliary charging pump)는 수평 원심형 펌프에 비해 펌프기초 면적이 커짐을 확인할 수 있다. 펌프 회전수와 펌프 공급사에 따라 펌프기초 면적의 크기가 달라진다. 이에 펌프 동력 대비 펌프기초 면적의 연계관계를 찾기 어렵다.

3.4 펌프 동력과 펌프실 면적 관계

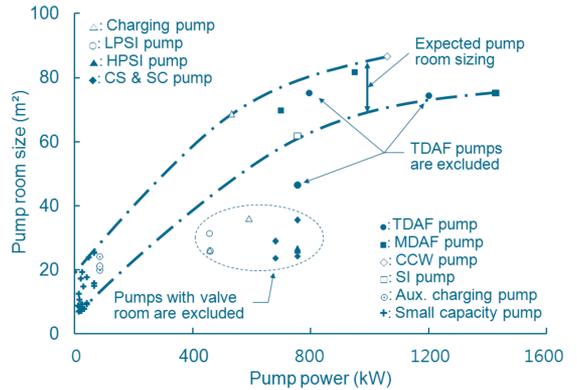


Fig. 2 Relation between pump power and pump room size (one pump)

펌프 동력 대비 펌프실 면적은 동일한 조건하에서 비교 분석해야 하므로 펌프실 내 배치되는 펌프 수량 단위로 구분하여 분석하였다. 밸브가 펌프실 내 배치되는 경우와 별도의 밸브실 내 배치되는 경우에 따라 펌프실 면적의 크기가 달라 밸브실 유무도 추가하여 분석하였다.

3.4.1 펌프 1대 배치 펌프실

펌프실 내 펌프가 1대 배치되는 경우의 데이터를 Fig. 2와 같이 그래프를 도시하여 펌프 동력과 펌프실 면적의 연계관계를 분석하였다. 펌프 동력이 400 kW 이하인 펌프의 경우 펌프 동력 대비 펌프실의 면적이 밀집되어 분포하고 있다. 따라서 펌프 동력 대비 펌프실 면적의 분석은 펌프 동력이 400 kW 이상인 펌프를 대상으로 하였다. 왕복동 펌프인 보조충전펌프는 동일한 펌프 동력의 수평 원심형 펌프에 비해 펌프기초 면적이 크므로 펌프실 면적도 클 것으로 판단되어 펌프 동력이 75 kW이지만 포함하여 분석하였다.

파선으로 표기한 타원 안에 배치된 펌프들은 별도의 밸브실을 포함하고 있어 다른 펌프들에 비해 작은 펌프실 면적을 필요로 한다. 이를 적용한 펌프는 충전펌프(charging pump), 저압안전주입펌프, 고압안전주입펌프(High Pressure Safety Injection pump, HPSI pump), 원자로건물살수펌프와 정지냉각펌프이다. 그리고 터빈구동보조급수펌프실은 발전소 건물배치와 펌프 특이성에 따라 크기가 결정된 것으로 판단되며, 펌프 동력 대비 펌프실 면적이 분산되어 분석 결과에서 제외하

한국형 원자력발전소 펌프실 면적 산정 방안

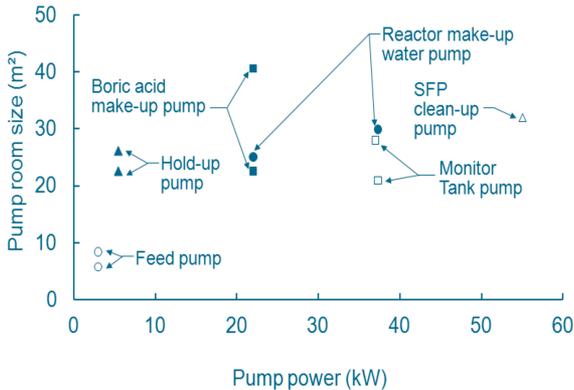


Fig. 3 Relation between pump power and pump room size (two pump)

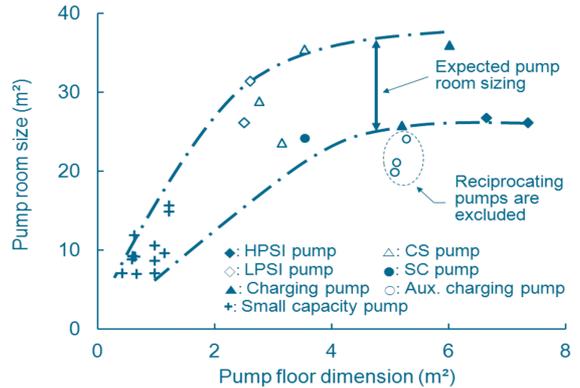


Fig. 4 Relation between pump floor dimension and pump room size (one pump and labyrinth entrance)

였다. 이런 이유로 인해 파선으로 표기한 타원 내에 배치된 펌프들과 터빈구동보조급수펌프(Turbine Driven Auxiliary Feedwater pump, TDAF pump)는 동일한 조건에서 비교분석할 수 없으며 이를 제외하면 펌프 동력과 펌프실 면적의 연계관계를 찾을 수 있다. 펌프실 내 펌프 1대 배치의 경우 펌프 동력 대비 펌프실 면적은 적은 펌프 동력에서는 급격하게 증가하지만 큰 펌프 동력에서는 완만하게 증가한다. 그리고 펌프실 면적의 크기는 펌프실 주변 상황에 맞게 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 편차 내에서 적절하게 결정한다.

3.4.2 펌프 2대 배치 펌프실

펌프실 내 펌프가 2대 배치되는 경우의 데이터를 Fig. 3과 같이 그래프를 도시하여 펌프 동력과 펌프실 면적의 연계관계를 분석하였다. 펌프 2대 배치되는 펌프실은 별도의 밸브실을 설치하는 사례가 없다.

붕산보충펌프(boric acid make-up pump)와 원자로 보충수펌프(reactor make-up water pump), 수용펌프(hold-up pump), 감시탱크펌프(monit- or tank pump), 주입펌프(feed pump) 등은 펌프 기능에 따라 각각 펌프실 면적이 다르게 분포되어 펌프실 내 펌프가 2대 배치되는 경우 펌프 동력과 펌프실 면적의 연계관계를 찾을 수 없다.

3.5 펌프기초 면적과 펌프실 면적 관계

펌프기초 면적 대비 펌프실 면적은 동일한 조건하에 비교분석해야 하므로 펌프실 내 배치되는 펌프 수량 단위로 구분하여 분석하였다. 그리고 미로형 출입구 유무에 따라 펌프실 면적이 달라지므로 미로형 출입구 유무도 포함하였다. 미로형 출입구를 포함하는 펌프실 면적은 미로형 출입구 바닥면적을 제외한 면적으로 산정하였다.

3.5.1 펌프 1대, 미로형 출입구 포함 펌프실

펌프가 1대 배치되고 미로형 출입구를 포함하는 경우의 데이터를 Fig. 4와 같이 그래프를 도시하여 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 연계관계를 분석하였다. 그리고 펌프기초 면적의 크기가 2 m^2 이하인 펌프의 경우 펌프기초 면적 대비 펌프실의 면적이 비교적 밀집되어 분포하고 있다. 따라서 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적의 분석은 펌프기초 면적이 2 m^2 이상인 펌프를 대상으로 하였다.

고압안전주입펌프와 저압안전주입펌프는 발전소 별 펌프실 면적이 유사하다. 충전펌프와 원자로건물살수펌프는 펌프기초 면적이 유사함에도 불구하고 발전소 별 펌프실 면적의 크기가 다르다. 이는 발전소 건물배치 특이성에 따라 펌프실 크기가 결정된 것으로 판단된다. 보조 충전펌프는 왕복동 펌프로 유사한 펌프기초 면적을 갖는 수평 원심형 펌프에 비해 펌프실 면적이 작은 경향을 보이고 있다. 따라서 보조 충전펌프는 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적을 다른 펌프들과 같이 비교하기 어렵기 때문에 제외하였다. 보조 충전펌프를 제외한 펌프기초 면적

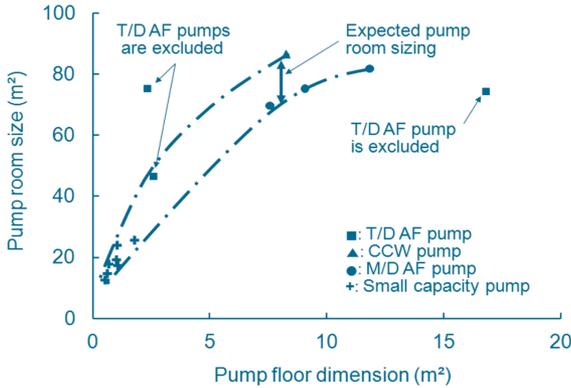


Fig. 5 Relation between pump floor dimension and pump room size (one pump and no labyrinth entrance)

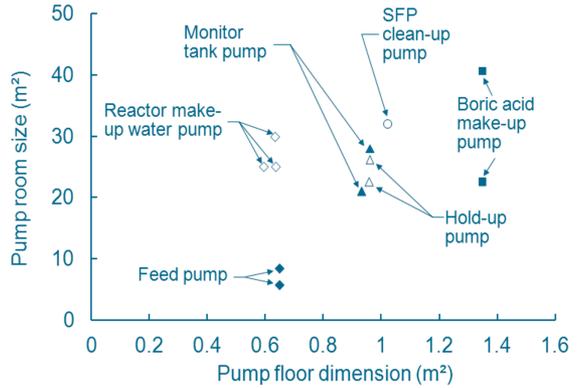


Fig. 6 Relation between pump floor dimension and pump room size (two pump)

과 펌프실 면적의 분석결과 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적의 연계관계를 찾을 수 있다. 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적은 작은 펌프기초 면적의 경우 급격하게 증가하지만 큰 펌프기초 면적의 경우 완만하게 증가한다. 그리고 펌프실 면적의 크기는 펌프실 주변 상황에 맞게 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 편차 내에서 적절하게 결정한다.

3.5.2 펌프 1대, 미로형 출입구 불포함 펌프실

펌프가 1대 배치되고 미로형 출입구를 불포함하는 경우의 데이터를 Fig. 5와 같이 그래프를 도시하여 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 연계관

계를 분석하였다. 펌프기초 면적의 크기가 2 m^2 이하인 펌프의 경우 펌프기초 면적 대비 펌프실의 면적이 밀집되어 분포하고 있다. 따라서 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적의 분석은 펌프기초 면적이 2 m^2 이상인 펌프를 대상으로 하였다.

전동기구동보조급수펌프 (Motor Driven Auxiliary Feedwater pump, MDAF pump)는 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적이 비례하여 증가하나 터빈기구동보조급수 펌프는 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적이 분산되고 있다. 터빈기구동보조급수펌프는 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적을 다른 펌프들과 같이 비교하기 어렵기 때문에 제외하였다. 터빈기구동보조급수펌프를 제외한 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 분석결과 펌프기초 면적 대비 펌프실 면적의 연계관계를 찾을 수 있다. 펌프기초 면적 대비

펌프실 면적도 작은 펌프기초 면적의 경우 급격하게 증가하지만 큰 펌프기초 면적의 경우 완만하게 증가한다. 그리고 펌프실 면적의 크기는 펌프실 주변 상황에 맞게 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 편차 내에서 적절하게 결정한다.

3.5.3 펌프 2대 배치되는 펌프실

펌프가 2대 배치되는 경우의 데이터를 Fig. 6과 같이 그래프를 도시하여 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 연계관계를 분석하였다. 주입펌프는 미로형 출입구를 가지고 있으나 별도로 구분하지 않았다.

방산보충펌프와 원자로보충수펌프, 수용펌프, 감시탱크펌프, 주입펌프 등은 펌프 기능에 따라 각각 펌프실 면적이 다르게 분포하고 있어 펌프실 내 펌프가 2대 배치되는 경우 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 연계관계를 찾을 수 없다.

4. 결론

한국형 원자력발전소에서 건물 및 기기배치 설계 시 각종 펌프실 면적을 결정하기 위해 펌프의 동력과 기초면적에 따라 소요되는 펌프실 면적을 조사하고 분석하여 펌프 동력과 펌프기초 면적, 펌프 동력과 펌프실 면적, 그리고 펌프기초 면적과 펌프실 면적의 향으로 도시하였다. 펌프의 특이성에 따른 예외가 다수 있으나 조사 및 분석결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

한국형 원자력발전소 펌프실 면적 산정 방안

- (1) 펌프실 내 펌프가 1대 배치되는 경우 펌프 동력과 펌프기초 면적을 참고하여 펌프실 면적을 구하는 연계관계를 찾을 수 있다. 다만, 보조충전펌프는 펌프 동력을 참고하고, 밸브실을 갖는 펌프는 펌프기초 면적을 참고하여 펌프실 면적을 산정하면 된다. 터빈구동보조급수펌프는 펌프와 발전소 건물배치 특이성에 따라 펌프실 크기가 결정된다.
- (2) 펌프실 내 펌프가 2대 배치되는 경우 펌프 동력과 펌프기초 면적을 이용한 펌프실 면적을 구하는 연계관계를 찾을 수 없다.
- (3) 펌프 동력과 펌프기초 면적의 연계관계를 찾을 수 없다.

참고문헌

1. Park, Y., 1987, Design Improvement Studies on the Standardization of Nuclear Power Plants, KEPCO, Vol. 23.
2. Park, Y., 1987, Design Improvement Studies on the Standardization of Nuclear Power Plants, KEPCO, Vol. 19.
3. Park, H. S., 1994, HICO Pump Hand Book, HICO.
4. Lee, H. S., 2012, Determination of Sizes of the Pump Rooms in Korean Nuclear Power Plants, MS thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.