

스마트 네이비 컨퍼런스 학술 논문 발표 신청서

논문(국문) 제목		스마트밸브 제어로직의 유동해석 모델 검증 및 모델 확장				
신청 분야		<input type="checkbox"/> 함정/잠수함/항공 <input type="checkbox"/> 유도수중무기 <input type="checkbox"/> 해양무인체계 <input type="checkbox"/> 지휘통제 <input type="checkbox"/> 추진체계 <input type="checkbox"/> 수중건설 <input type="checkbox"/> 해양법 <input checked="" type="checkbox"/> 신기술 <input type="checkbox"/> 기타(제품소개)				
발표자	성 명	김민주				
	소속 및 직위	한국조선해양, 주임연구원				
	E-mail	minjoo.kim@ksoe.co.kr				
	전화번호	031-210-9518	팩스번호			
공동 저자	성 명	1저자	2저자	3저자	4저자	교신저자
		김민주	김성희	유병용	신재형	김민주
	근무처	판교	울산	판교	울산	판교
	직 위	주임연구원	책임연구원	책임연구원	대리	주임연구원
초 록		스마트밸브는 함정의 손상통제 능력을 제고하기 위한 밸브로 주로 해수소화고리계통에 설치되어 파손구역을 자체적으로 감지하고 유체 누설을 방지하여 해수압력을 짧은 시간 내에 복구하기 위한 목적으로 사용한다. 현재 미 해군은 상용화된 스마트밸브에 대한 연구가 활발한 반면 국내에서는 관련 연구가 미미하다. 따라서 본 논문은 스마트 밸브를 국내 함정에 적용하기 위해 필요한 스마트밸브의 주요 기능을 모사하는 연구를 수행하였다. 스마트밸브의 주요 기능인 손상통제 능력에 영향을 주는 복구시간을 평가하였고, 이를 위해서 열유체 해석 상용프로그램을 활용하여 복구시간 모사 해석모델을 개발하였다. 개발된 모델의 검증을 위해 미 해군의 스마트밸브 로직을 활용하여 분석하고, 그 결과를 실험값과 비교하였다. 해석모델과 실험값이 유사한 결과로 도출되었고, 밸브의 위치를 변경하여 손상감지로 인한 시스템 복구시간을 구현함으로써 다양한 상황에 대한 평가를 수행하였다. 본 연구에서 개발된 해석모델을 활용하여 향후 해수소화고리계통의 스마트밸브 최적배치에 적용할 수 있을 것이다.				
시청각 기자재		Beam Projector와 Power Point 를 기준으로 작성하여 주시기 바랍니다.				

스마트밸브 제어로직의 유동해석 모델 검증 및 모델 확장

김민주^{1*}, 김성희¹, 유병용¹, 신재형¹
한국조선해양¹

Verification of fluid analysis and model expansion of smart valve control logic

Minjoo Kim^{1*}, Sunghee Kim¹, Byeongyong Yoo¹, Jaehyung Shin¹

Abstract : 스마트밸브는 함정의 손상통제 능력을 제고하기 위한 밸브로 주로 해수소화고리계통에 설치되어 파손 구역을 자체적으로 감지하고 유체 누설을 방지하여 해수압력을 짧은 시간 내에 복구하기 위한 목적으로 사용한다. 현재 미 해군은 상용화된 스마트밸브에 대한 연구가 활발한 반면 국내에서는 관련 연구가 미미하다. 따라서 본 논문은 스마트 밸브를 국내 함정에 적용하기 위해 필요한 스마트밸브의 주요 기능을 모사하는 연구를 수행하였다. 스마트밸브의 주요 기능인 손상통제 능력에 영향을 주는 복구시간을 평가하였고, 이를 위해서 열유체 해석 상용프로그램을 활용하여 복구시간 모사 해석모델을 개발하였다. 개발된 모델의 검증을 위해 미 해군의 스마트밸브 로직을 활용하여 분석하고, 그 결과를 실험값과 비교하였다. 해석모델과 실험값이 유사한 결과로 도출되었고, 손상구역의 위치를 변경하여 손상감지로 인한 시스템 복구시간을 구현함으로써 다양한 상황에 대한 평가를 수행하였다. 본 연구에서 개발된 해석모델을 활용하여 향후 해수소화고리계통의 스마트밸브 최적배치에 적용할 수 있을 것이다.

Key Words : Smart Valve(스마트밸브), Valve Control Logic(밸브 제어로직), CFD Analysis(유체역학해석), Firefighting Loop System(소화고리계통)

1. 개 요

함정의 생존능력은 적의 위협을 회피하거나 견딜 수 있는 관련 함정 계통과 승조원의 능력으로 정의된다. 미 해군에서는 이러한 기술 중 하나로 피격 후 함정의 손상을 최소화 할 수 있는 스마트밸브를 개발하여 활용하고 있다. 스마트밸브는 함정 운용 자동화를 통한 손상통제 운용 요원 감소 및 계통 생존성을 향상 시킬 수 있는 기능을 가진 밸브이다.

기존 매뉴얼밸브 대신 스마트밸브로 교체 설치함으로써 함정의 화재 및 전투 시 발생하는 손상 부분에 대하여 자동으로 화재 진압 및 손상 부분이 제외된 새로운 소화고리배관구성에 의한 2차 피해 발생을 최소화 시킬 수 있으며, 자체 제어가 가능하기 때문에 계통 복구시간을 단축시키는 장점이 있다.

하지만 스마트밸브는 민감성, 예산, 무게 등으로 인해서 손상시나리오에 따른 배치 최적화가 요구된다. 현재까지 미 해군에서 개발하고 미 해군 함정에 적용한 것이 전부이며, 국내의 경우 개발 및 적용 사례가 미미하다.

따라서 본 연구에서는 스마트밸브를 국내 함정에 적용하기 위한 단계로 유동해석모델 구현을 통한 스마트밸브의 제어로직 검증을 수행하였다.

2. 연구내용

미 해군의 스마트밸브는 밸브의 액추에이터에 제어로직이 내장되어 있다. 밸브의 전/후단에는 압력센서가 있으며, 압력센서를 통해 감지된 차압, 유량, 유체 방향 및 작동하는 스마트밸브와 펌프 간의 거리 등에 의해서 스마트밸브는 개폐여부를 판단하게 되며 손상구역으로부터 가까운 밸브가 멀리 있는 밸브보다 더 빨리 닫히는 알고리즘을 가지고 있다. 밸브는 Table 1의 조건을 만족함으로써 구간의 파열을 식별한다. 조건이 성립되지 않거나 파열 근처 밸브가 닫힘으로써 계통의 압력이

복구가 되는 경우, 나머지 밸브는 다시 열리게 된다.

Table 1. 만족 조건

셋포인트 유체특성값	파열인지를 위한 만족 조건
$P_{set}, Q_{rupture}$	$P_d < P_{set}$ and $Q > Q_{rupture}$

P_{set} : 밸브의 셋포인트 값
 P_d : 밸브의 출구 압력
 $Q_{rupture}$: 파열상태를 식별하기 위한 절대적인 유량 셋포인트 값
 Q : 파열 시 누출되는 유량

2.1. 해석모델 구현

소화계통의 밸브는 총 다섯 개의 스마트밸브와 아홉 개의 매뉴얼밸브 그리고 두 개의 펌프로 구성되어 있으며(Figure 2), Table 2의 정보 및 미 해군 연구소의 스마트밸브 관련 보고서에서 제공된 정보를 바탕으로 해석을 수행하였다. 해석모델 구현을 위해 유동해석 상용프로그램인 플로마스터(FloMASTER)를 활용하였다. 해석모델의 모든 배관 크기는 동일하게 입력되었다 (Figure 1). Figure 2에서 표시된 네모박스의 배관은 밸브가 닫혀 있는 것으로 설정하였기 때문에 유량이 통과하지 않는다.

Table 2. 해석 정보

배관 및 밸브 사이즈	0.1 m
배관길이	5 m
밸브 닫히는 시간	15 sec.
밸브 셋포인트	75 psig

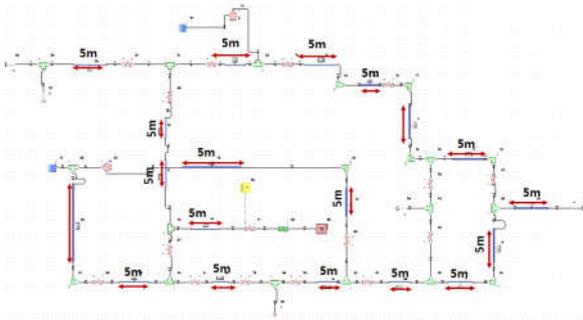


Fig. 1. 해석모델 배관 길이5m,직경0.01m

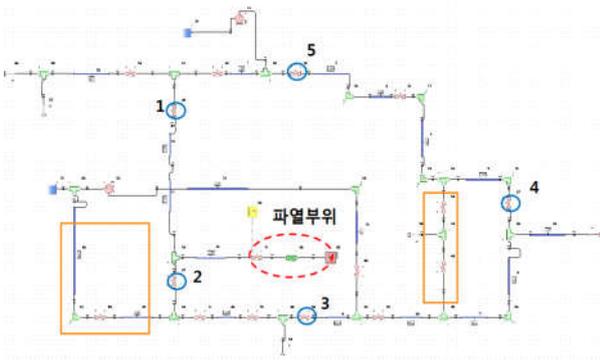


Fig. 2. 해석모델 결과

Table 3. 해석모델 결과

미 해군 실험값	해석모델 결과
<p>Smart Valve 1</p>	<p>Smart Valve 01</p>
<p>Smart Valve 2</p>	<p>Smart Valve 02</p>
<p>Smart Valve 3</p>	<p>Smart Valve 03</p>

3. 실험결과

3.1. 해석모델 검증

해석결과는 Table 3에서 확인 할 수 있으며, 미 해군 연구소에서는 파열부위에 따른 밸브 1,2,3에 대한 작동결과를 비교하였다. Table 3에서 보듯이 파단 감지(0s) 이후 파단과 가까운 쪽의 압력은 대기압과 같으며, 파단에서 먼 쪽의 압력은 복구 되는 것을 볼 수 있다. 해석모델 결과에 따르면 밸브 1과 밸브 2의 경우 파단 감지 이후 밸브가 10초 안에 닫히는 것을 볼 수 있다. 밸브 3의 경우 약 5초 뒤에 닫히는 현상을 띠다가 밸브 1,2의 닫힘으로 인한 압력 복구로 밸브 3이

스마트밸브 제어로직의 유동해석 모델 검증 및 모델 확장

다시 열리는 것을 볼 수 있다. 결과에서 보듯 복구시간은 미 해군 실험값에 비해 조금 더 빠른 것을 확인할 수 있었지만, 비슷한 결과를 도출함으로써 해석모델을 검증하였다. 해석모델의 결과가 조금 다른 이유는 미 해군의 실제 실험모델은 밸브의 센서의 기능을 저하시키는 요소들(생물오존, 진동 등)의 영향을 받았을 반면, 해석모델의 경우 복구시간이 늦춰질 만한 요소들을 고려하지 않았기 때문일 것으로 추측된다.

3.2. 손상구역에 따른 복구시간

손상구역에서의 거리 및 파단 위치 등에 따라 밸브에 의한 복구 시간에 변화가 있을 것으로 판단되며, 총 네 가지 손상구역(Table 4)에 따른 복구시간을 알아보았다.

Table 5는 손상구역에 따른 각 밸브의 닫히는 시간에 대한 결과이며, 이를 바탕으로 계통의 손상구역을 보면 Table 6 ~ Table 9와 같은 결과조합을 볼 수 있다. 계통이 복구되는 부위가 적어 고리계통이 제 기능을 수행할 수 없는 구역은 계통을 복구하는 의미가 없기 때문에 해석에서 제외되었다 (비고: 복구 의미 없음).

스마트밸브는 계통의 밸브가 적어도 두 개 이상 닫힘으로써 계통을 복구 시키며, 해석모델로 실험해본 결과 손상구역 3의 복구 시간이 나머지 손상구역들에 비해 더 오래 걸리는 결과가 나왔으며, 다른 손상 구역에 비해 조금 더 멀리 떨어져 있기 때문인 것으로 추측된

Table 4. 손상구역

손상 구역 1	
손상 구역 2	
손상 구역 3	
손상 구역 4	

Table 5. 손상구역에 따른 밸브 닫히는 시간

손상 구역	밸브 닫히는 시간 [s]				
	밸브1	밸브2	밸브3	밸브4	밸브5
1	7.7	7.1	8.1	8.7	8.7
2	7.6	7.6	7.3	9	9
3	14.9	14.9	14.9	7.8	7.8
4	7.4	8.1	8.1	7.4	7.1

Table 6. 손상구역 1에 따른 복구시간

밸브	복구시간 [s]	비고
밸브 1-2	7.7	밸브 고장 없음
밸브 1-3	7.7	밸브 2 고장
밸브 1-4	-	복구 의미 없음
밸브 1-5	-	복구 의미 없음
밸브 2-3	-	복구 의미 없음
밸브 2-4	7.3	밸브 1,5 고장
밸브 2-5	7.3	밸브 1 고장
밸브 3-4	-	복구 의미 없음
밸브 3-5	8.1	밸브 1,2 고장
밸브 4-5	-	복구 의미 없음

Table 7. 손상구역 2에 따른 복구시간

밸브	복구시간 [s]	비고
밸브 1-2	-	복구 의미 없음
밸브 1-3	-	복구 의미 없음
밸브 1-4	9	2,3번 밸브 고장
밸브 1-5	-	복구 의미 없음
밸브 2-3	-	복구 의미 없음
밸브 2-4	9	3번 밸브 고장
밸브 2-5	9	3,4번 밸브 고장
밸브 3-4	-	모든 밸브 작동
밸브 3-5	9	4번 밸브 고장
밸브 4-5	-	복구 의미 없음

다. 각 손상구역에 대한 복구시간은 크게 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있으며, 손상 부위와 가까운 밸브들이 멀리 있는 밸브보다 조금 더 빨리 닫히는 것을 확인 할 수 있었다 (Table 5).

또한, 계통의 일부가 복구되는 시간은 두 밸브 중 더 멀리 설치되어 있는 밸브의 닫히는 시간 기준으로 판단 된 것이기 때문에 손상구역 3에서 볼 수 있듯이 복구 시간이 14.9초더라도 손상구역보다 가까이 있는 밸브 (밸브 4 혹은 5)는 더 빨리 닫힌다. 즉, 복구되는 총 시간은 더 멀리 설치되어 있는 밸브에 의해 좌우된다.

3.2. 배관 길이에 따른 복구시간

본 케이스 스터디에서는 손상구역 2에 대해 배관 길이를 아래의 Table 10과 같이 바꾸어 계통 복구시간의 변화를 알아보았다. 모든 계통의 길이는 Figure 1에서 보듯 동일한 배관 길이로 수정하였다.

Table 11은 배관 길이에 따른 모든 밸브의 복구시

스마트밸브 제어조직의 유동해석 모델 검증 및 모델 확장

Table 8. 손상구역 3에 따른 복구시간

밸브	복구시간 [s]	비고
밸브 1-2	-	복구 의미 없음
밸브 1-3	-	복구 의미 없음
밸브 1-4	-	복구 의미 없음
밸브 1-5	14.9	모든 밸브 작동
밸브 2-3	-	복구 의미 없음
밸브 2-4	14.9	1,5번 밸브 고장
밸브 2-5	14.9	밸브 1 고장
밸브 3-4	14.9	1,2,5번 밸브 고장
밸브 3-5	14.9	1,2번 밸브 고장
밸브 4-5	-	복구 의미 없음

Table 9. 손상구역 4에 따른 복구시간

밸브	복구시간 [sec.]	비고
밸브 1-2	-	복구 의미 없음
밸브 1-3	8.1	2번 밸브 고장
밸브 1-4	-	복구 의미 없음
밸브 1-5	-	복구 의미 없음
밸브 2-3	8.1	모든 밸브 작동
밸브 2-4	8.1	3번 밸브 고장
밸브 2-5	-	복구 의미 없음
밸브 3-4	-	복구 의미 없음
밸브 3-5	-	복구 의미 없음
밸브 4-5	-	복구 의미 없음

Table 10. 배관 길이

	길이 1	길이 2	길이 3	길이 4
길이 (L)	5 m	10 m	20 m	30 m

Table 11. 배관 길이에 따른 밸브 닫히는 시간

길이	밸브1	밸브2	밸브3	밸브4	밸브5
5 m	7.6	7.6	7.3	9	9
10 m	8.1	8.1	7.3	9.5	9.5
20 m	7.8	7.8	7.3	11.6	11.6
30 m	7.8	8.1	7.3	13.2	13.2

간을 보여 준다. 손상구역과 가까운 밸브 1,2,3은 손상 구역보다 멀리 떨어져 있는 밸브 4,5 보다 빨리 닫히는 것을 볼 수 있다.

배관 길이 변화에 따른 복구시간은 배관 길이가 길어 질 수록 복구시간이 더 오래 걸리는 것을 알 수 있다.

3.3. 배관 직경에 따른 복구시간

본 해석에서는 손상구역 2에 대해 배관 직경을 Table 12와 같이 바꾸어 계통 복구시간의 변화를 알아보았다.

모든 계통의 직경은 Figure 1에서 보듯 동일한 배관 직경으로 수정하였다. Table 13은 배관 직경에 따른

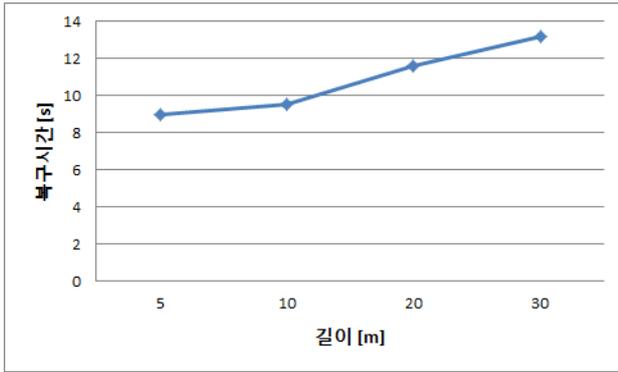


Fig. 3. 배관 길이에 따른 복구시간

Table 12. 배관 직경

	직경 1	직경 2	직경 3	직경 4
직경 (D)	0.05m	0.1m	0.2m	0.3m

Table 13. 배관 직경에 따른 밸브 닫히는 시간

직경	밸브1	밸브2	밸브3	밸브4	밸브5
0.05m	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
0.1m	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
0.2m	7.6	7.6	7.3	10.3	10.3
0.3m	10	10	7.4	13.6	13.6

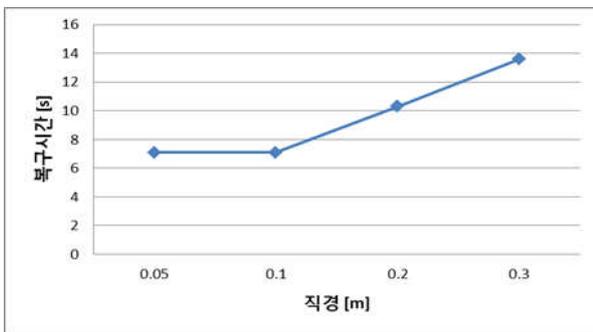


Fig. 4. 배관 직경 변화에 따른 복구시간

모든 밸브의 복구시간을 보여 준다. 손상구역과 가까운 밸브 1,2,3은 손상구역보다 멀리 떨어져 있는 밸브 4,5 보다 빨리 닫히는 것을 볼 수 있다.

해석결과(Figure 4), 배관 직경이 커질수록 계통의 복구시간이 길어지는 것을 볼 수 있다. 또한, Figure 4의 배관직경 0.05 m와 0.1 m의 경우 직경이 달라도 복구시간이 같은 것을 볼 수 있다. 그 이유는 손상구역은 미세한 누출로 일어나는 것이 아니라 파열로 일어나기 때문에 특정 %의 유체가 급격하게 빠져나가게 된다. 그러므로 복구시간이 같은 경우 파열로 인해 누출되는 유체의 양과 그로 인해 지정된 밸브의 셋포인트 값이 모두 비슷한 시간 내에 도달하기 때문에 같은 결과가 나오는 것으로 판단 할 수 있다.

3. 결론

해석모델은 분기관 없이 주배관으로만 이루어진 간단한 계통이기 때문에 모든 케이스에 대한 복구시간에 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.

계통 복구시간은 계통의 크기, 배관의 길이 및 직경, 유체종류, 배관의 부식, 생물 부착 등으로 인한 밸브센서 기능저하 등에 의해 좌우된다. 해석결과에 의하면 스마트밸브를 통한 계통 복구시간은 여러 요소들이 결합되어야 하며, 아래의 요소들과 연관성이 있음을 확인할 수 있었다.

- 파열 길이 및 직경
- 파열 형상(크기)
- 파열 위치
- 분기관 설치 여부

본 해석모델은 단순히 제어로직을 검증하기 위한 것으로서 모든 케이스의 복구시간은 적절한 시간 안에 도달함으로써 스마트밸브의 성능을 충족하는 것을 증명할 수 있었다. 하지만 실제 계통에는 많은 분기관이 존재하기 때문에 위에서 언급한 요소들을 결합하여 스마트밸브 제어로직 및 셋포인트 값이 보완된다면 밸브 별 복구시간이 현재 해석모델 결과보다 신뢰도가 더 높을 것으로 예상된다. 또한, 이러한 부분을 보완하여 실제 선박에 적용 시 추가적인 분석이 필요 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 스마트밸브 제어로직을 간단한 유동 해석모델을 통해 구현해보았고, 미 해군의 스마트밸브 제어로직 성능을 잘 구현할 수 있음을 증명하였다. 향후 유동해석모델을 보완하여 실선박에 적용함으로써 스마트밸브의 최적배치를 도출 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Lestina Tom et al., "Development of DC-ARM Reflexive Smart Valve," NRL/MR/6180-01-8552, May 7 2001.
- 2) Runnerstrom, L.T., Dabis, E., Durkin, A.F. and Williams, F.W., "Evaluation of Reflexive Valve Logic for a Shipboard Fireman," NRL/MR/6180-00-88425, Jan 12 2000
- 3) Lestina Tom et al., "Evaluation of Firemain Architectures and Supporting Reflexive Technology," NRL/MR/6180-99-8346, March 12 1999