

선박파공으로 인한 선박침수 방지를 위한 파공봉쇄장치 성능의 실험적 연구

† 문정환 · 김진경* · 권기생* · 정경태** · 윤종휘***

† 한국해양대학교 대학원, *한국해양수산연수원, **한국해양과학기술원, ***한국해양대학교

An Experimental Study on the Performance of Liquid Spill Stopper to Prevent Flood through the Hull Punctures

† Jung-Hwan Moon · Jin-Kyeong Kim* · Ki-Seng Kwon* · Kyung-Tae Jung** · Jong-Hwi Yun***

† Department of Coast Guard Studies, Graduate school of Korea Maritime University Busan 606-791, Korea

* Korea Institute Maritime Fisheries and Technology, Busan 608-080, Korea

** Korea Institute of Ocean Science & Technology, Ansan 426-747, Korea

*** Department of Coast Guard Studies, Korea Maritime University Busan 606-791, Korea

요 약 : 이 논문은 파공봉쇄장치(Liquid Spill Stopper) 성능 검증 실험에 대한 문제를 다룬다. 실험을 통해 선체에 파공이 발생한 경우 파공 봉쇄장치를 사용하여 신속하고 효율적으로 대응 및 봉쇄할 수 있는지를 가늠할 수 있다. 이 연구에서 쓰인 방법은 선체의 파공으로 해수가 유입할 때 발생하는 압력에 대한 실험 장치와 선박에 부착한 후 운항 중 분리 속도에 대한 실험이다. 이 논문의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 직경 40mm 및 100mm 파공에서 1.0bar의 압력에도 제 성능을 발휘했다. 둘째, 선체 중앙에서 선미 방향으로 홀수선상 300mm, 홀수선, 홀수선 하 300mm에 각각 2개씩 6개의 파공봉쇄장치를 부착한 채 항속을 높이기 시작한 결과, 해군 작전속도(18knots)를 상회하였으며 최초로 선수 홀수선에 부착한 것이 20.2knots에서 분리하였으므로 함정의 작전속도에 지장이 없을 뿐만 아니라 일반 선박의 선체 파공에서도 침수 방지 기능을 제공할 수 있다.

핵심용어 : 선박파공, 파공봉쇄장치, 영구자석, 유입압력, 분리속도

Abstract : This paper considers the issue of LSS(Liquid Spill Stopper)'s performance verification testing against external resisting force. The importance of the test is to ascertain the possibility of liquid spill stop quickly and efficiently by LSS. The method adopted in this research is the experimental device for puncture's inflow pressure and test the adhesive (magnetic) force on shell plates during the sailing. The major results of the paper are the followings : (a) The performance of LSS against 40 and 100mm diameter puncture was confirmed under 1.0bar. (b) LSS near bow detached first at 20.2 knots. This indicates that LSS can recover the damaged movability needed to naval warships' operation as well as merchant ships.

Key words : hull puncture, liquid spill stopper, permanent magnet, inflow pressure, detachment speed

1. 서 론

1980년대부터 우리나라는 급속한 경제성장으로 에너지 소비량이 증가에 따라 원유수입량이 급증하였고, 운송비가 저렴한 해상으로 화물수송이 집중됨에 따라 해양오염사고는 연평균 약 300~400여건 가량이 발생하고 있으며 좌초, 충돌 등의 원인으로 발생한 파공으로 인한 해양오염사고, 선박의

침수 및 침몰사고가 발생하고 있다.

2002년 6월 29일 서해 연평도 해상에서 북한과 교전 중이던 우리해군 참수리 357호는 250여발의 포탄과 총탄으로부터 발생된 파공을 봉쇄하지 못하여 8시간 30분 만에 침몰하여 상당한 재산적 · 인명적 피해가 발생하였다.

여러 가지 이유로 발생한 선박의 파공으로 인한 해양오염 물질의 유출, 선박의 침몰 등이 계속적으로 발생하고 있음

† 대표저자 : 정회원, phd.moonjh@daum.net 051)410-4834

* 교신저자 : 종신회원, jg21kim@naver.com 051)620-5791

* 종신회원, 808kks@daum.net 051)620-5823

** 종신회원, ktjung@kordi.re.kr 031)400-6322

*** 종신회원, jhyun@hhu.ac.kr 051)410-4279

(주) 이 논문은 “악천후 유류유출사고시 초동대응한계의 축소를 위한 네트형 유류확산추적부 개발연구의 필요성”란 제목으로 “2009 한국항해항만학회 추계학술대회논문집(부산 벅스코, 2009.10, pp. 127-128)에 발표되었음.

에도 불구하고 사고 선박에서 방제 수행 및 봉쇄작업뿐만 아니라 파공 또는 균열 등을 효과적으로 봉쇄하는 기술 및 장비 개발도 미비한 실정이다.

Kang et al.(2009)은 선박의 해상사고에 따른 선체파공 등으로 적재 또는 저장되어 있는 기름 등이 유출시 단시간 내에 파공을 봉쇄하여 유출을 막는 장치의 개발에 관한 연구로 자석(magnet), 밸브(valve) 및 밀봉식 공기실(sealing air chamber)을 이용한 이동식 봉쇄장치로 저장 및 설치가 간편하고 선박의 흡수선 상부 및 하부 또는 선저부의 파공에도 간단히 설치할 수 있는 응급봉쇄장치개발의 연구를 통해 자석을 이용한 봉쇄가능여부를 확인했지만 장치의 무게에 따른 이동이 어렵고 봉쇄까지 긴 소요시간이 필요하다는 단점이 있다.

Korea Coast Guard(해양경찰, 2008)는 영구자석을 이용한 선박파공봉쇄장치 개발을 위한 연구를 진행하여 원형인 파공 부위를 가상한 봉쇄장치에 대한 기본 개념을 정리하고 파공으로부터 유출 압력을 줄이기 위한 압력 저하 밸브(pressure reducing valve)를 장착한 시제품을 개발하여 고압의 파공을 봉쇄할 수 있게 되었지만 곡면부는 봉쇄할 수 없는 한계가 있다.

Kwon(2011)은 우리나라 해역에서 발생한 파공으로 인한 유출사고를 분석하고 고압으로 유출되는 파공을 봉쇄할 수 있는 장치의 개발 및 실험을 통해 우리나라 해역의 50% 이상의 파공으로 인한 유출사고에 대한 적용이 가능하며 해양 환경 보호 및 경제적 손실 감소에 크게 기여할 것으로 평가하고 있다.

본 연구는 충돌 등의 사고로 발생한 파공을 "신속"하고 일정 범위내의 "곡면부" 봉쇄가 가능한 파공봉쇄장치를 이용해 해수의 유입을 방지할 수 있는 기술 및 장비의 개발이 매우 중요한 것으로 판단되어 이를 바탕으로 개발한 저압용 파공 봉쇄장치(Liquid Spill Stopper, LSS)에 작용하는 유입압력 및 운항속도에 따른 분리 실험을 통한 성능검증을 수행하였다.

2. 국내·외 파공봉쇄관련 장비 및 개발 현황

2.1 국 내

해양을 항행하는 중·대형 선박은 수십만 척에 달하고 있으며, 이러한 선박이 충돌, 좌초 및 해군에서 함포 등으로 인한 파공 등의 사고는 많이 발생함에도 불구하고, 현재까지 이러한 사고 현장에서 긴급 봉쇄 및 복구 기술이나 장비를 이용하여 조치를 취한 경우는 미비한 실정이며, 우리나라 역시 Fig. 1과 같이 목침(wood plug), 패드(pad), 밴드(tape band) 및 수중 용접(underwater welding) 등을 활용하고 있는 실정이다.



Fig. 1 Existing equipments for liquid spill stopping

그러나 현장에 사용되는 파공봉쇄장치는 없으며 해양오염 방제활동을 주도적으로 시행하는 해양경찰과 해양환경관리공단(Korea marine environment management corporation, KOEM)에서는 기존의 목침 등을 사용하는 재래적인 방법으로 대처하고는 있지만, 실무적 활용은 미비하며, 해군 함정용 방수장비(봉쇄장치)는 일반 회사에서 주문 제작하여 공급하고 있지만, 방수훈련은 훈련을 위한 수준으로 머무르고 있으며 실제 파공사고에 유효하게 적용한 실적은 없다.

2.2 국 외

1) 미 국

미국의 Texas대학에서는 Fig. 2와 같이 기차용 탱크로리에 실험용 장치로 개발하여 교육 훈련에 사용하고 있다.



Fig. 2 Liquid spill stopper made by USA

2) 노르웨이

노르웨이의 영구자석 전문회사인 Miko社에서 선박 파손부에

대해 유출량이 매우 작거나 저항부가 적은 국부적인 부분에 적용할 수 있는 소형의 파공봉쇄장치를 개발하여 왔으며 Miko Plaster는 선박의 흡수선상 파공 에 대한 유출입을 봉쇄할 수 있으며 방수시트(seat)로 되어 있어서 장기간 보관 및 사용 후에도 자력손실이 없어 반 영구적으로 사용할 수 있고 Fig. 3과 같이 성인 남성 혼자서 이동이 가능하며 부착이 용이 한 장점이 있다.



Fig. 3 Miko plaster(Magnetic patch)

*sources : <http://www.miko.no/magnetic-patch-miko-plaster>

있으며 탈·부착이 가능하도록 개발된 410×640×15mm 파공 봉쇄장치를 사용하였다. 이 파공봉쇄장치는 장치의 유연성을 높이기 위해 연성의 스테인리스 판재에 T5×W25×L40mm의 영구자석 20개가 봉쇄장치 외변을 따라 부착하여 부식을 방지하기 위한 고무 커버(cover)를 추가 결합하였으며, 선박과 봉쇄장치 사이에 해수유입 방지와 항해 중 탈착 방지를 위한 개스킷(Gasket)을 설치하였다.

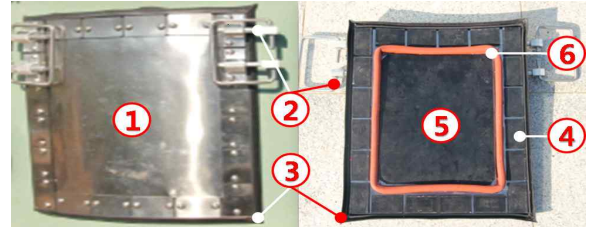


Fig. 5 Experimental LSS

- ①Softness stainless steel, ②Handle,
- ③Fall-off prevention gasket, ④Permanent magnet,
- ⑤Sealing pad ⑥Leakage prevention gasket

3. 파공봉쇄장치의 성능 검증 실험

3.1 실험 개요

영구자석을 이용한 파공봉쇄장치는 Fig. 4와 같이 고압형과 저압형으로 구분하여 개발되었으며 고압형은 파공의 위치가 수두 7m 미만이거나 파공의 직경이 30cm 전후 크기에 적용할 수 있도록 개발되었고 저압형은 파공의 위치가 수두 1~2m 미만이거나 1~3m 길이의 선저 파열 또는 흡수 주변 및 수면하의 파공에 적용할 수 있도록 개발되었다.

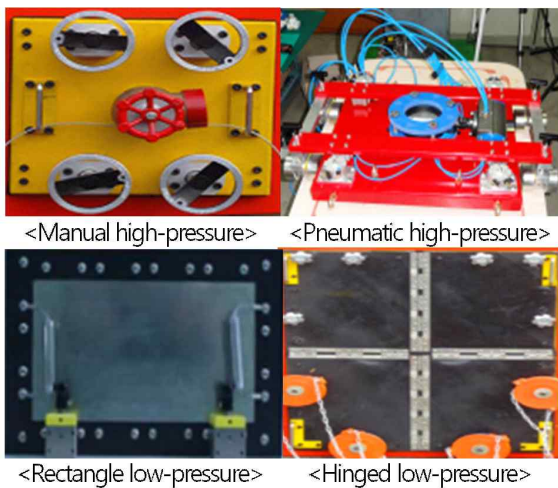


Fig. 4 High-pressure & low-pressure LSS

본 연구에서는 이동성이 용이하여 신속한 이동 및 설치가 가능하며 일정부분의 곡면부에도 부착이 가능한 장점이 있는 저압형 파공봉쇄장치를 이용하여 손상부위로부터 기름 등 오염 물질의 유출과 해수의 유입을 방지할 수 있다.

Fig. 5와 같이 경량으로 제작되어 혼자서도 들고 옮길 수

1) 파공크기에 따른 압력실험

선박에 발생한 파공은 일정한 위치, 크기 등을 예측할 수 없기 때문에 개발된 파공봉쇄장치의 봉쇄가능 범위를 측정할 필요성이 있으며 파공의 위치와 내압에 따라 유출입압력이 달라지므로 압력을 측정하기 위한 별도의 압력 실험 장치를 제작하였으며 실험 장치의 파공은 40, 100, 200mm의 원형으로 제작하여, 해당 파공에 가해지는 압력을 측정할 수 있도록 Fig. 6과 같이 제작하였다. 본 장치는 직경이 1m이고 높이가 0.8m인 원통형으로 만들었으며 수압과 공기압으로 장치의 내압을 측정할 수 있도록 설계하였고, 일정량의 물을 실험장치 내부에 주입한 후 밸브를 통해 압력을 조절하여 파공을 봉쇄하고 있는 장치의 성능을 측정했으며, 파공의 직경을 40mm, 100mm, 200mm로 조절할 수 있는 부착물을 마련하여 실험을 진행하였다.



Fig. 6 Pressure resistance measuring device

- ①Handle, ②Cover handle, ③Pressure gauge,
- ④Thermometer, ⑤ Sight glass, ⑥Valve,
- ⑦Recline device, ⑧Puncture

2) 운항속도에 따른 분리실험

충돌, 좌초, 함포 등의 원인으로 선박의 외관에 발생한 파공에 직접적으로 부착함으로써 봉쇄할 수 있기 때문에 봉쇄 후 추가적인 오염물질 유출 및 해수 유입과 선박수리 및 함정의 작전수행을 위해 선박운항이 불가피하다. 따라서 파공봉쇄장치를 부착한 후 항해 중 선속 증가에 따른 장치에 미치는 저항에 따라 파공봉쇄장치가 탈착하는 운항속도를 계측하는 실험을 위해 해군 SSU(Ship Salvage Unit, 해난구조대)팀의 협조로 Fig. 7과 같이 현재 작전 수행을 하고 있는 참수리 호(PKM)에 선수로부터 선체에 6개의 파공봉쇄장치를 함정의 길이 방향 중앙에 위치한 흘수선에서부터 선미 쪽으로 I(흘수선)-120cm → II(흘수선상 300mm)-160cm → III(흘수선하 300mm)-140cm → IV(흘수선)-320cm → V(흘수선상 300mm)-220cm → VI(흘수선하 300mm)로 간격을 두면서 부착한 후, 함정이 정지에서부터 전속력인 30knots까지 함정의 속도를 증가시키면서 부착된 침몰방지용 파공봉쇄장치가 어느 속도에서 분리되는지를 확인 하였다.

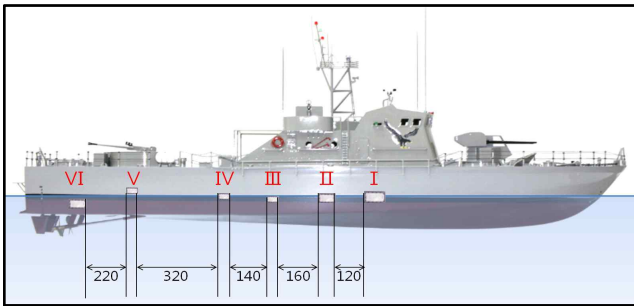


Fig. 7 Schematic of LSS attached to PKM

3.2 실험방법

국내·외에서 파공봉쇄장치 개발 관련 연구가 유일하게 진행되고 있기 때문에 관련 연구 실험 및 데이터가 매우 제한적이다. 또한 현재 개발된 파공봉쇄장치가 시제품 단계임에 따라 파공이 발생한 선박에 직접적으로 설치하는 것은 다소 어려움이 따른다. 따라서 현재까지 연구 및 개발을 진행하면서 축적한 실험 및 문헌과 함께 압력측정을 하기 위해 별도로 장치를 제작하여 파공봉쇄장치의 제 성능을 발휘할 수 있는 압력 측정실험을 실시했으며 고속 운항이 가능한 해군 함정을 이용하여 장치 이탈 운항속도 계측실험을 실시했다.

1) 파공크기에 따른 압력실험

실험은 압력 실험 장치 바닥면에 만들어진 200mm의 파공 뿐만 아니라 파공의 크기를 조절하기 위해 별도로 만든 40mm 파공의 판을 Fig. 8과 같이 부착한다. 이후 40mm의 파공 판을 제거한 후 100mm 파공 판을 부착시켜 실험을 진행했다.



Fig. 8 Punched control

파공 판을 부착한 후 압력실험 장치 내부에 Fig. 9와 같이 저압용 파공봉쇄장치를 부착시킨 후 물을 절반가량 채우고 밀봉시킨다.



Fig. 9 Attach LSS,

이후 Fig. 10과 같이 압축 공기를 0.1, 0.5, 0.7, 1.0, 1.3bar의 압력에 순서대로 각각 도달하게 한 다음, 15 초를 유지하여 누설 여부를 확인 한 후 이상이 없으면 점점 그 다음 단계로 높여가며 실험하였다.



Fig. 10 Pressure control

파공 크기를 조절하기 위해 마련한 연결부위와 밀봉패드와 접촉되는 부분에 압력이 높아질 경우 누설 문제로 인하여 본 실험 장치에서는 압력 상승으로 인한 장치의 변형, 누설 등의 상태를 확인한다. 이후 파공의 크기를 100, 200mm로 변경하여 실험을 계속 실시했다.

2) 운항속도에 따른 분리실험

Fig. 11과 같이 고속 단정(Rigid inflatable boat, RIP)을 이용해 참수리 호 외관에 직접 부착시켰다. 항행 중 빠른 속도로 인해 파공봉쇄장치가 분리 후 분실의 우려에 대비하여 탈착 핸들을 끈으로 묶어서 연결한 후 핸드레일(handrail)에 고정하였다.



Fig. 11 Attach LSS on PKM

함정을 정지부터 속도를 5, 10, 12, 15, 20, 25, 30 knots의 단계로 점점 증속시켜 해당 속도에 5분씩 머물게 하면서 분리되는 항해속도가 얼마인지에 대해 Fig. 12와 같이 항해실험을 하였다.



Fig. 12 Low & high speed sailing

3.3 검증실험의 결과 분석

1) 압력실험에 대한 결과 분석

직경 40mm의 파공에서 실시한 유입 압력에 대한 파공 봉쇄장치는 1.3Bar에 가까워지면서 Fig. 13과 같이 파공 부위의 고무 커버가 볼록하게(convexity) 약간의 변형이 발생했지만, 충분히 제품의 제 기능을 발휘했으며, 이는 수면 아래 깊이 13m 환경조건까지 해당 크기의 파공이 발생하더라도 효율적으로 봉쇄가 가능하다고 판단된다.



Fig. 13 LSS of 40mm puncture under pressure of 1.3bar

파공의 크기를 직경 100mm로 조절하여 0.1~1.3bar의 압력 변화에 따른 파공봉쇄장치의 성능을 실험했다. 해당 크기의 파공에서는 Fig. 14와 같이 1.0bar를 경과하면서부터 누수는 되지 않았지만, 파공부위에서 볼록하게 변형만 되었다. 충돌 등으로 100mm 파공이 발생하면 수면 아래 수심 10m 환경 조건까지는 봉쇄가 가능하다고 판단된다.



Fig. 14 LSS of 100mm puncture under pressure of 1.0bar

파공의 크기를 직경 200mm로 조절하여 압력을 상승시켜 보았다. 해당 크기의 파공에서는 0.5bar 이후로는 0.1bar가 증가할 때 마다 눈에 띄는 정도로 고무판이 볼록하게 변했으며, 그 후 Fig. 15와 같이 0.7bar 이후로 찢어져서 누수가 시작하였으므로 한계에 도달한 것으로 판단된다.



Fig. 15 Rupture and leakage of 200mm puncture under pressure of 0.7bar

Table 1.에서와 같이 파공의 크기에 따른 유입압력의 변화에서 개발된 파공봉쇄장치의 제 성능을 검증하는 실험을 통한 결과를 나타낸 것이다.

Table 1 Pressure leaking test

Diameter (mm) \ Pressure (bar)	40	100	200
0.1	O	O	O
0.5	O	O	O
0.7	O	O	0.75 rupture
1.0	O	Convexity	-
1.3	O	-	-

*All serene : O

2) 분리실험에 대한 결과 분석

선박 또는 함정에서 파공이 발생한 경우 장치를 선박에 부착하고 항해 또는 전투 중 해수의 유입으로 인한 선박과 함정의 침몰 방지를 위하여 부착 및 항해시험을 다음과 같이 시험하였다.

함정에 Fig. 7과 같이 파공봉쇄장치를 부착한 후 정지부터 30knots까지 순차적으로 상승시키면서 분리 상태 여부를 관측하였다. 함정의 속도를 20.2knots로 높이니 선체의 중앙에서

선수 방향으로 흡수에 부착시킨 I 번 과공봉쇄장치가 Fig.16과 같이 최초로 분리되었다.



Fig. 16 Detachment of No.1 LSS

또한 선미 흡수선 아래에 부착한 VI번 과공봉쇄장치가 항해속도인 20.8knots에서 분리되었으며, Fig. 17과 같이 흡수선 부근에 부착된 III번 과공봉쇄장치가 24.7knots에서 분리되었으나 나머지 3개의 LSS는 30knot의 항정 속도에서도 분리되지 않았다.



Fig. 17 Detachment of No.3 LSS

Table 2에서 확인되는 바와 같이 함정의 작전속도인 18knots보다 더 빠른 20knots까지 과공봉쇄장치가 분리하지 않았으며, 안전하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2 Result of the ship's resistance force test according to ship's navigation velocities

LSS knots	I	II	III	IV	V	VI
5	O	O	O	O	O	O
10	O	O	O	O	O	O
12	O	O	O	O	O	O
15	O	O	O	O	O	O
20	O	O	O	O	O	O
Detach ment	20.2	O	24.7	O	O	20.8
25	-	O	-	O	O	-
30	-	O	-	O	O	-

*All serene : O

4. 결 론

선박에 과공이 발생하여 선내로 유입되는 해수를 신속하고 효율적으로 봉쇄하기 위해 개발된 과공봉쇄장치에 대해 해수가 유입되는 압력과 선체 외판에 봉쇄 후 운항에 따른 탈착에 영향을 미치는 항해속도 계측실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 40mm의 과공에 1.3bar(수심 13m)의 압력으로 유입하는 해수는 과공봉쇄장치를 사용하여 막음으로 물의 유입을 봉쇄할 수 있다.
- 2) 100mm 과공의 경우라 하더라도 1.0bar(수심 10m)의 압력으로 유입하는 해수는 과공봉쇄장치를 사용하여 봉쇄가 가능하다.
- 3) 함정의 외판에 부착한 과공봉쇄장치의 부착력은 해군 작전속도는 18knot이며 장치의 탈착속도 측정 결과 최초로 20.2knots에서 탈착되었기 때문에 함정에서 발생한 과공으로 인한 침수 및 침몰 사고를 방지할 수 있으므로 전투력 유지에 아무런 문제가 없다.
- 4) 수심 10m 이내 환경에서 지름 100mm까지의 과공이 발생한 선박에서 신속한 초동 대응 가능하며 봉쇄 후 20knots 이상의 속력으로 회항이 가능해 짐에 따라 추가적인 함정(선박) 침몰을 방지할 수 있게 되었다.
- 5) 선박과공으로 인한 선박 침수 방지를 위한 과공봉쇄장치 성능의 실험적 연구를 하였지만, 유출압력 실험의 경우와 다양한 각도에서 과공봉쇄장치에 미칠 수 있는 외력의 분석 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Kang et al.(2009), "The development of oil spill stopper from cracked tanker by magnet and air seal system", The Korea Society of Marine Environment & Safety, Autumn Research Meeting, pp. 43-48.
- [2] KCG(2008), Assurance method of Oil spill Stopper from cracked ship.
- [3] Korea Institute of Ocean Science & Technology(2011), Conservation of clean coastal sea via the development of response technologies to marine pollution accidents.
- [4] Mko Marine AS, <http://www.mikono/magnetic-patch-miko-plaster/>
- [5] Kwon(2011), The development of magnetic holding force-based oil spill stopper for damaged tankers, Technical Support Association of Response Industrial, 2011 Regular General Assembly, pp. 34-42.

원고접수일 : 2013년 03월 21일

심사완료일 : 2013년 04월 22일

원고채택일 : 2013년 04월 22일