

준능동형 유압식 톱브레이싱을 이용한 선박용 저속 2행정 디젤엔진의 본체 진동제어

이문식¹ · 김양곤² · 황상재³ · 이돈출⁴ · 김의간[†]

(원고접수일 : 2013년 12월 30일, 원고수정일 : 2014년 4월 7일, 심사완료일 : 2014년 7월 15일)

A study on vibration control of the engine body for a large scale diesel engine using the semi-active controlled hydraulic type of top bracing

Okqp/uggn'Ngg³ⁿ · [cpi/i qp"Mo ⁴ⁿ· Uipi/lcg"J y cpi ⁵ⁿ · Fqp/eq qn'Ngg⁶ⁿ · Wg/nep"Mo [†]

요약: 선박용 저속 4행정 디젤엔진의 선체 탑재 후 본체 진동제어를 위한 방법 중 하나로 마찰식 톱브레이싱과 유압식 톱브레이싱의 사용이 널리 이용되고 있으며 이들의 선택은 선주에게 일임되어져 왔다¹ 특히, "최근에 이르러 톱브레이싱 설치목적에 반하여 선체강성의 상대적 저하는 주 공진회전수를 상용회전수내에 존재하게 만들었고 마찰식 톱브레이싱이 장착된 선박에서 이와 관련된 사고 사례가 보고되었다² 이에 따른 효율적 해결방안으로 다양한 형태의 선박에 대하여 광범위한 진동측정이 제시되었다³ 본 논문에서는 이를 바탕으로 톱브레이싱 형식에 따른 엔진 본체 진동의 특성을 확인하였고 엔진 본체 진동을 제어하기 위하여 보다 효율적인 방법에 대하여 고찰하였다⁴

주제어 : 톱 브레이싱."고유진동수."엔진본체 진동제어."가이드 힘."J/모드 진동."Z/모드 진동

Abstract: Pqy cf c{u"cu"r ctv"qh"cp'ghhqtv"v"lpetgcu"y g"ghelgpe{"qh"rtqr wukqp"uj chkpi "u{ ugo . "y g'tgxqnwkp"qh"y j"o ckp"flgugri'gpi lpg"lp"EOET*Eqptcev"Oczlo wo "Eqpvpwqwu"Tvupi "+"ku"tgf vegf"y j gtgcu"y g"uhtpgu"qh"j wri'utvewtg"uwr r qt vpi "y j"o ckp"flgugri'gpi lpg"ku"tgnvkgri{"mgzkdng'J qy gxt."xldtcvqp"rtqdrgo u'tgrvrf"y kj"tguqpcpv'tgur qpug"qh"o ckp"flgugri'gpi lpg"ctg"lpetgculpi "cnj qwi j"vqr"dtcelpi "ku"lpucngf"dgvy ggp"y j"o ckp"flgugri'gpi lpg"cpf"y j"j wri'utvewtg"v"lpetgcu"pcwtcri'ltgs vep{"qh"gpi lpg"dqf {"cdqyg"EOET"v"cxqk"tguqpcpv'r j gpqo gpqp0 ""lp"y ku"uwf {"y j"gf {pc0 le"ej ctcevgtkne"qh"vqr"dtcelpi "ku"tgxgy gf" d{"cper{| lpi "o gcuwtpi "tguwu"qh"i gpgtcri'ecti q"uj kr u"y j lej"cr r r"y j"j {ftcwle"vr g"lpugcf"qh"y j"gtlcvkp"vr g"v"eqptqri'v g"pcwtcri'ltgs vep{"cpf"y j"xl' dtecvqp"qh"y j"gpi lpg"dqf {"0'Qtgqxt."eqpukf gt lpi "y j"xldtcvqp"ej ctcevgtkne"qh"y j"gpi lpg"dqf {"cpf"y j"j {ftcwle"vr g"qh"y j"vqr"dtcelpi "d{"xct{lpi "y j"pwo dgt"qh"vqr"dtcelpi ."cwj qtu"uwi i guv"y j"o qtg"ghgevkxg"y c{"v"eqptqri' y j"xldtcvqp"qh"y j"gpi lpg"dqf {"fgur kg"qh"ny gt"uhtpgu"qh"y j"j wri'utvewtg"y j"cp"lp"y j"rcu"y j"gp"y j"j {ftcwle"vr g"qh"vqr"dtcelpi "ku"wgf0

Keywords : Vqr/dtcelpi ."Pcwtcri' ltgs vep{"Xldtcvqp" eqptqri' qh" gpi lpg" dqf {"I wlf g" hqteg." J/o qf g" xldtcvqp." Z/o qf g" xldtcvqp

[†] Eqttgur qpf lpi " Cwj qt< F kklukp" qh" O gej cplecni (" Gpgti {" U{ ugo u" Gpi lpggtlpi ." Mqtgc" O ctklo g" Wplxgtuks{." F qpi uco /f qpi ."I gppi f q/i w" Dwucp." 828/9; 3." Mqtgc. G/o ckn< pxj B j j wteftn. Vgn< 273/632/6583
3" Y ctvukc" Mqtgc" Nf 0' G/o ckn< o qpuggn0ggB y ctvukc0eqo ." Vgn< 273/54; /2722
4" Mqtgc" Tgi kugt" qh" Uj kr lpi ." G/o ckn< {i nko B mtu0q0n. " Vgn< 292/ : 9; /: 666
5" UNZ "J gex {" lpf wntlgu" Eq0' Nf 0' G/o ckn< lcg{cj 24B qpguz0eqo ." Vgn< 277/49: /43; 2
6" F kklukp" qh" O ctkpg' Gpi lpggtlpi ." O qnr q' P cklpcri' O ctklo g" Wplxgtuks{." G/o ckn< rf exkdb o o wteftn. " Vgn< 283/462/943;

1. 서론

최근 선박에서는 연료소모량 절감의 일환으로 프로펠러 효율 증대를 위하여 연속최대출력의 회전속도를 낮추도록 설계한 초장행정 엔진을 적용하는 경향이 늘어나고 있다 [1][2]에 따라 엔진 본체의 강성은 저하하게 되어 J/모드 공진회전수가 상용회전수 이하에 존재하는 경우가 종종 발생하고 있다

그 중 8실린더 이상의 장 행정 저속 디젤엔진 항 방향 기진력인 Z/모드 J/모드 가이드 힘 모멘트 및 톱 브레이싱에 의하여 엔진 본체와 이를 지지하는 선체구조에 진동 문제가 유발될 가능성이 높다 이러한 경우 과거에는 일반적으로 고유진동수의 상승을 위하여 엔진상부에 톱 브레이싱을 설치하여 엔진 본체의 주 공진회전수를 연속최대회전수 OET보다 상향으로 조정하였다 하지만 선체 구조의 경량화에 따라 엔진을 지지하는 선체의 강성이 상대적으로 저하되었으며 OET의 사용회전수를 낮춤에 따라 엔진상부에 톱 브레이싱을 설치하여도 주 공진회전수가 상용회전수내에 존재하기도 한다 [3]-[5][8]

이러한 경우에는 마찰식 톱 브레이싱 뿐만 아니라 유압식 톱 브레이싱을 적용하여도 J/모드 공진회전수가 상용회전수 근방에 존재하는 경우가 있다 유압식 톱 브레이싱을 설치하면 강성증가 효과 뿐 만 아니라 자체의 댐핑 작용에 따른 효과도 있어 엔진 본체 진동진폭이 마찰식에 비해 감소되어 규정치는 만족하지만 주 공진회전수를 상용회전수 범위 밖으로 높여 본체 진동진폭을 효율적으로 제어하기에는 한계가 있는 경우도 있다 또한 일부 마찰식 톱 브레이싱을 설치한 선박에서 설계시에 엔진의 상용회전수 이상에 존재할 것으로 예상했던 고유진동수가 엔진의 상용회전수 근방에 존재하게 되어 도리어 톱 브레이싱의 설치로 상용회전수 근방에서 진동이 증가하는 경우도 있다 이런 경우에는 설치한 톱 브레이싱 고정 볼트를 풀어서 운항하기도 한다

본 연구에서는 엔진 본체진동 제어를 위하여 설치한 톱 브레이싱의 형식에 따른 특성을 연구하였다 이에 따라 9m 화물선에 적용된 톱 브레이싱

의 형식 및 설치 개수를 달리하여 다양한 방법으로 진동 측정을 수행하였으며 실제 선박에 적용된 톱 브레이싱의 형식에 따른 엔진 본체진동의 특성을 평가하고 엔진 본체진동을 보다 효율적으로 제어하기 위한 방안에 대해서 고찰하였다

2. 톱 브레이싱

40" 톱 브레이싱 구성 및 작동

일반적으로 엔진 본체진동을 제어하기 위해 적용되는 톱 브레이싱은 Figure 1과 같으며 이를 제어 형식에 따라 마찰식과 유압식으로 나눌 수 있다 마찰식 톱 브레이싱은 체결 볼트에 톱을 주어 조이는 힘의 크기에 비례하는 마찰력을 가지며 엔진의 회전속도에 따른 가이드 힘 모멘트와 반대 방향으로 작용하는 마찰력으로 엔진을 지지한다

반면 유압식 톱 브레이싱의 경우에는 Figure 2에 보이는 바와 같이 밸브 블록을 실린더 피스톤 그리고 어큐뮬레이터로 구성되어 있으며 실린더 내부는 3차 챔버 4차 챔버 공기 챔버 이렇게 5개 구역으로 나누어져 있다 또한 그 작동 메커니즘은 엔진 또는 선체로부터 전달되는 힘에 따라 챔버의 내부 압력은 상승하고 릴리프 밸브의 설정 압력 이상이 되면 3차 챔버 내부 오일은 4차 챔버로 흐르게 되며 4차 챔버와 공기 챔버의 압력이 같아질 때까지 공기 챔버는 상승된 힘을 흡수하게 된다 [6][7]

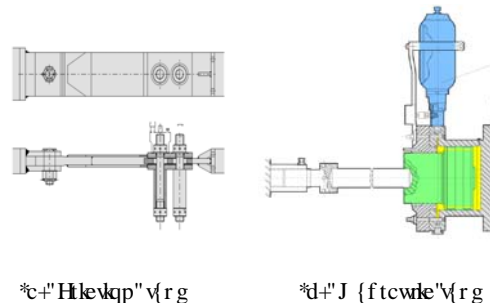


Figure 1: 톱 브레이싱 구성 및 작동

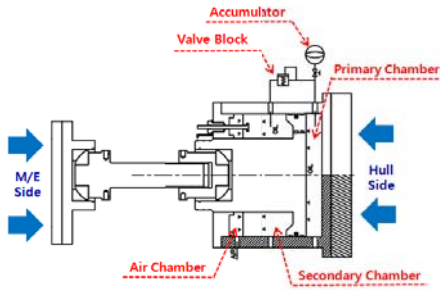


Figure 2: 40" 톱 브레이싱 설치조건

40" 톱 브레이싱 설치조건

톱 브레이싱 제조자는 Table 1 과 같이 J /모드의 엔진 본체 진동을 제어하기 위하여 엔진의 실린더 수에 따라 선체와 엔진 사이에 톱 브레이싱의 설치 개수를 권장하고 있다. 실제 진동측정을 수행 하였던 선박에 설치한 유압식 톱 브레이싱의 계약적 설치 모습은 Figure 3 과 같다. 이 선박에서 유압식 톱 브레이싱을 설치하기 전에는 동일한 위치에 마찰식 톱 브레이싱이 적용되었다. 또한, 상대적으로 저하된 선체 강성을 보완하기 위해서 톱 브레이싱을 엔진 제조자의 권장치에 따라 4개를 추가로 더 설치하여 진동측정을 시행하였다.

Table 1: 유압식 톱 브레이싱 설치 개수

엔진 실린더 수	유압식 톱 브레이싱 개수
6" 8"	4
9" 32"	6
Cd q x g	8

3. 엔진 본체진동 측정 및 분석

50" 실험장비 및 진동측정 조건

엔진 본체의 진동특성 및 톱 브레이싱 성능을 확인하기 위하여 사용된 진동측정 장비는 Table 2 에 같다. 그리고 운항 선박의 상황 여건에 따른 선체의 변형은 톱 브레이싱의 성능에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 영향을 최소화하기 위해서 동일한 흘수조건 및 바람과 파도의 영향이 거의 없는 잠간한 해상 상태에서 진동측정을 수행하였다.

Table 2: 사용된 진동측정 장비

장비명	모델명
가속도 센서	ICP 601C
진동계	SIEMENS 7000
데이터 수집기	SIEMENS 7000

50" 톱 브레이싱의 배치 및 진동측정 방법

엔진 본체 및 선체에서의 J /모드에 대한 진동특성을 확인하기 위하여 진동측정 위치를 Figure 3 및 Figure 4에 표시된 위치에 가속도 센서를 부착하여 측정하였다.

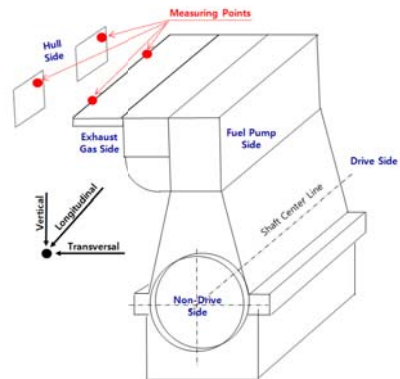


Figure 3: 엔진 본체 및 선체에서의 J /모드 진동특성 측정 위치

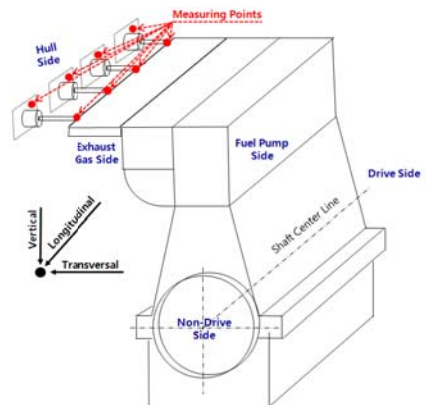


Figure 4: 엔진 본체 및 선체에서의 J /모드 진동특성 측정 위치

버내의 유압이 상승하여 릴리프 밸브의 설정된 압력보다 큰 힘이 가해짐으로써 3차 챔버와 4차 챔버 사이의 릴리프 밸브가 개방되고 이에 따른 톱 브레이싱 내부의 에어챔버가 힘을 흡수하여 진동 수치가 감소되는 톱 브레이싱 특성을 알 수 있었다⁹⁾ 그러나 실선에 적용된 톱 브레이싱의 유압 특성으로 인해 J/모드의 공진회전수는 ≈ 60 rpm 부근으로 상승하고 OET 근처에 존재하게 되므로 도리어 엔진의 상용회전수 근방에서 진동이 증가하게 되었다¹⁰⁾

따라서 엔진 본체에 대한 J/모드의 진동특성과 톱 브레이싱의 강성 및 댐핑 특성을 확인하기 위하여 ecug¹¹⁾와 같이 유압식 톱 브레이싱을 ecug¹²⁾와 동일방향으로 4개 더 추가하여 설치하였다¹³⁾ 이 경우에 대한 진동 측정 결과를 Figure 10¹⁴⁾ 및 Figure 11¹⁵⁾에 보인다¹⁶⁾ 이 그림들을 검토하여 보면 추가로 설치된 유압식 톱 브레이싱에 의해 댐핑 특성은 더욱 증가하여 진동 수치는 상당히 감소하였으나 J/모드 공진회전수는 ≈ 60 rpm으로 톱 브레이싱을 4개만 설치한 ecug¹⁷⁾보다 6 rpm 정도만 증가하였다¹⁸⁾ 이는 오히려 J/모드의 공진회전수가 OET에 더욱 근접하여 바람직하지 않은 결과를 주고 있음을 알 수 있다¹⁹⁾

이들 결과로부터 엔진과 선체 사이에 추가로 톱 브레이싱을 설치하면 톱 브레이싱의 댐핑의 증가로 진동진폭은 감소하나 J/모드의 공진회전수는 그렇게 상승하지 않으므로 본체진동 제어시 이를 고려하여 설계할 필요가 있다²⁰⁾

또한 최근의 엔진 개발은 연료소비율을 줄이기

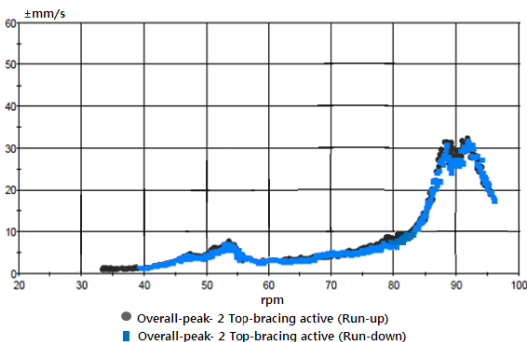


Figure 7: "O gcwtłpi "tguwn"cv'pqč"e{łpf gt"qh'ecug"KK

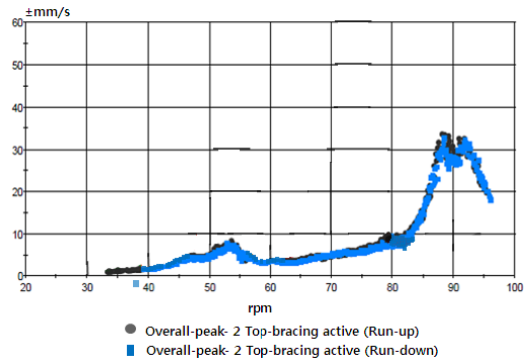


Figure 8: "O gcwtłpi "tguwn"cv'pqč"e{łpf gt"qh'ecug"KK

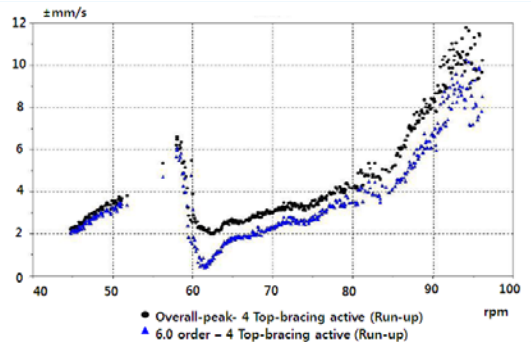


Figure 9: "O gcwtłpi "tguwn"cv'pqč"e{łpf gt"qh'ecug"KK

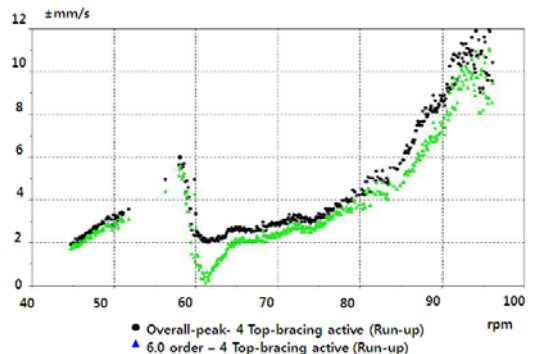


Figure 10: "O gcwtłpi "tguwn"cv'pqč"e{łpf gt"qh'ecug"KK

위해 초 장행정화하고²¹⁾ 이로 인해 엔진 본체의 횡방향 강성은 더욱 저하하는 경향으로 가고 있다²²⁾ 선박의 건조 경향도 다양한 이유로 선체의 강성이 저하하고 있다²³⁾ 따라서 엔진 본체의 J/모드 공진회전수를 OET보다 상향으로 이동시키기 위해 다

