한국해양공학회지 제29권 제4호, pp 322-330, 2015년 8월 / ISSN(print) 1225-0767 / ISSN(online) 2287-6715

Technical Note and Data

Journal of Ocean Engineering and Technology 29(4), 322-330 August, 2015
http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2015.29.4.322

영구자석을 적용한 선박용 곡면 철판 이송용 유압식 마그네틱 클램프 이송장치의 성능평가에 대한 고찰

문병영[*] · 이성범[**] · 이기열[***]
[*]군산대학교 조선공학과
[**]부산대학교 조선해양공학과
[***]군산대학교 조선해양전문인력양성사업단

Performance Evaluation of Hydraulic and Magnetic Clamp Crane for Transporting Curved Steel Plate for Shipbuilding, with Permanent Magnet Applied

Byung Young Moon[*], Sung Bum Lee[**] and Ki Yeol Lee[***]
[*]*Department of Naval Architecture, Kunsan National University, Kunsan, Korea*
[**]*Department of Naval Architecture and Ocen Engg., Pusan National University, Busan, Korea*
[***]*Shipbuilding & Ocean Technical Manpower Agency, Kunsan National University, Kunsan, Korea*

KEY WORDS: Hydraulic and magnetic clamp 유압식 마그네틱 클램프, Curved steel plates 곡가공 철판, Performance evaluation 성능평가, Ferritic permanent magnet 페라이트 영구자석, Residual Induction 잔류 자속밀도, Coercive force 보자력, Adhesive force 흡착력

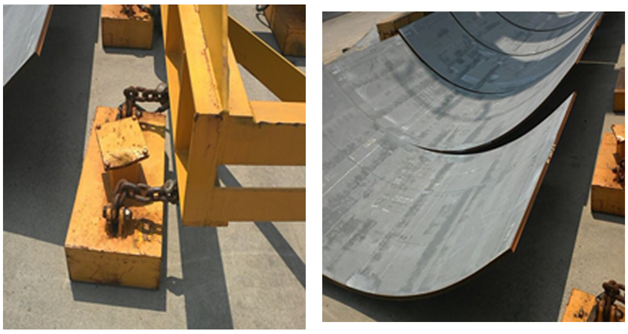
ABSTRACT: *As a new technical approach, a hydraulic and magnetic clamp device was developed to realize a magnetic clamp crane system by simultaneously actuating eight individual hydraulic cylinders. In this approach, an Sr-type of ferritic permanent magnet ($SrO \cdot 6Fe_2O_3$), rather than the previous electromagnet, was utilized for the purpose of lifting and transporting the large curved steel plates used for manufacturing ships. This study had the goal of developing and manufacturing a hydraulic, magnetic clamp prototype composed of three main parts, including the base frame, cylinder joint, and magnet joint, in order to safely transport curved steel plates. Furthermore, this research included a performance evaluation of the manufactured prototype and acquired the purposed quantity value in the performance test. The most significant item, the magnetic adhesive force (G), was evaluated in a performance test, which utilized a ferritic permanent magnet (Sr type) with 3700~4000 G of residual induction (Br) and 2640/2770 Oe of coercive force (Hc). In particular, relevant items such as the hoist tension (kN), transportation time (s), and applied load (Kgf) on the hydraulic cylinders were also evaluated in order to determine the optimum values.*

1. 서 론

오늘날, 선박건조는 수십에서 수백 개의 평블록과 곡블럭을 용접하여 조립 및 제작하는 생산 공정을 가지고 있으며, 대부분의 조선소는 이러한 다수의 블록들을 자체 공정상 외주가공에 의존하여 제작하고 있는 실정이다. 특히, 대형 철판을 들어 올려 이동하는 일반 마그네틱 크레인(Magnetic crane)에 있어, 마그네틱 클램프(Magnetic clamp)와 연결된 고정식 체인부(Fixed-chain parts)가 제 기능을 발휘하지 못해 곡면 철판 등의 이송 시, 산업안전사고의 피해가 발생함에 따라 자체적인 안정성(Safety) 확보의 필요성이 제기되고 있다. 아울러, 일반 마그네틱 크레인의 경우 전류가 흐르는 동안에만 자석의 일반기능을 발휘하는 전자석(Electromagnet)이 대부분 이용되고 있어 자기적 성질을 적용하는 점에 있어 일부 한계를 보여주고 있다 (Fig. 1과 Fig. 2 참조).

이러한 안정성을 확보하기 위하여 기존 공법에서 탈피하여, 보다 신뢰성 있는 자기적 특성을 가지는 영구자석(Permanent magnet)의 적용과 더불어 유압실린더의 동적 거동을 접목하여

Received 9 June 2015, revised 3 July 2015, accepted 19 August 2015
Corresponding author Byung Young Moon: +82-63-469-1854, moonby20@hanmail.net



(a) (b)

Fig. 1 Actual view of current chain type magnetic clamp (a), curve panel for ship manufacturing (b)

Fig. 2 Actual view of current magnetic crane device

대형 중량물을 이송할 수 있는 '유압식 마그네틱 클램프' 형식의 크레인을 개발하는 방안이 제시된다. 이러한 신개념의 마그네틱 크레인을 도입할 경우, 설비시스템은 베이스프레임 + 마그네틱 연결부 + 유압장치로 구성되며, 곡면 가공된 대형철판을 이동시 유압실린더에 동일한 인장력(Tension)이 가해지게 되면서 신뢰성 있는 자성재료의 자기적 특성에 힘입어, 대형 중량물을 운반 시 낙하하는 불상사를 미연에 예방할 수 있게 된다. 동일한 인장력이 동시에 가해진다는 측면에서 유압장치는 유압밸런싱 장치(Hydraulically-balanced device)로 해석된다.

높은 흡착력 및 보자력을 가지고 선박건조용 대형 곡가공 철판을 안전하게 이송시킬 수 있는 '유압식 마그네틱 클램프'(Hydraulic and magnetic clamp) 이송장치의 경우 핵심소재는 유압식 실린더 장치와 연계하여 클램프 설비장치의 주축을 이루는 자성재료(영구자석)라고 할 수 있다. 여기서 언급하는 자성재료란 물성론적으로는 자기적 성질을 갖는 재료의 총칭이지만, 공업적으로는 자기적 성질을 필요 특성으로 하는 기계, 장치, 부품 등에 실제 적용할 수 있는 자기 특성을 갖는 재료를 말한다.

자성재료는 자기 특성면에서 다음 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 첫째, 보자력(Hc)이 매우 크고 잔류 자속밀도(Br)가 큰 재료, 즉 경질 자성재료가 있으며, 둘째, 투자율이 높은 반면에 보자력이 작고 외부 자장에 대해 큰 자화의 변화를 나타내는 고투자율 재료, 즉 연질 자성재료가 있다. 경질 자성재료에는 영구자석이 해당되고, 연질 자성재료에는 고투자율 재료가 이용되며 상기 자성재료들은 각종 기계, 장치, 부품 등 거의 모든 산업분야에서 광범위한 용도를 가지고 있다(Cullity, 1972; Smith, 1990).

자성재료와는 별개로, 전류가 흐르는 동안에만 자석의 기능을 발휘하는 전자석이 있다. 전자석은 전류가 흐르는 동안 자기장이 형성되는 자석으로서 자기장의 형성에 필요한 자성을 확보함에 있어 인위적인 요소가 있다. 반면, 누전이나 차단 등 외부 돌발변수가 작용할 경우, 자기장이 사라져 자석의 기능을 상실한다는 단점이 있다(Barrett et al., 1973). 일반 마그네틱 크레인의 경우 현재 대부분 전자석이 활용되고 있는 실정이며, 우수한 자기적 특성 및 효율성을 보여주는 영구자석을 활용하여 신개념의 이송용 크레인에 적용할 수 있음에도 불구하고, 비용감소, 공정시간 단축 등을 이유로 조선소 현장에서 이에 대한 대응방안은 많이 부족한 실정이다.

본 기술개발 공정에서는 곡가공 철판이송을 위하여 신개념의 '유압식 마그네틱 클램프'를 개발하기 위해 주관기관과 참여기관이 상호 협력하는 기술개발 과정을 통해 시제품을 제작하고자 하였다. 기존의 전자석 마그네틱 크레인과 비교하여 볼 때, 동일한 인장력이 가해지는 유압벨런싱 장치를 적용하면서, 우수한 자기적 특성을 보이는 고성능 영구자석을 연계하여 이송장치용 '유압식 마그네틱 클램프'를 제작하는데 본 기술개발 보고 자료의 소개 배경이 있다(Fig. 3 참조).

(a)

(b)

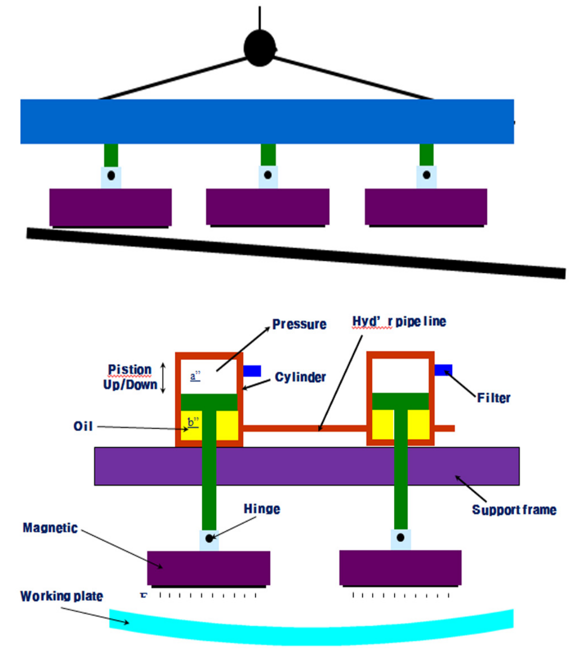


Fig. 3 Schematic diagram for comparison of present-purposed hydraulic magnetic clamp device (b) with the previous clamp device (a)

본 기술개발 보고 자료의 소개 목적은 선박제조에 적용되는 대형 곡가공 철판을 안전하기 이송하기 위한 장치로서, '유압식 마그네틱 클램프' 이송장치를 제작 및 개발하는데 주안점이 있으며, 이 과정에서 제작된 시제품에 대한 성능평가(Performance evaluation)를 수행하여 제반 평가항목에 대한 정량적 수치 및 개발 목표치를 확보하고자 함에 있다. 특히, 평가항목 중 중요한 항목에 해당되는 마그네틱 접착력(G)과 관련하여 우수한 자기적 특성을 나타낼 수 있는 최적의 영구자석을 선정 및 적용하는데 신중한 검토를 하였으며, 기타 평가항목 중 주요 항목에 해당하는 호이스트 장력(kN), 이송시간(sec) 및 실린더에 걸리는 하중(Kgf) 등에 대해서도 정량적 수치를 획득하는데 그 중요성을 두었다.

2. 시험 방법 및 절차

본 기술개발에서는 선박용 대형 곡가공품을 안전하게 이송시키기 위해 마그네틱 클램프 이송장치를 개발하기 위해 기존의 단순한 마그네틱 크레인의 범주를 벗어나, 베이스프레임 + 마그네틱 연결부 + 유압장치로 크게 구성되는 설비시스템을 구축하면서 신개념의 '유압식 마그네틱 클램프' 이송장치를 제작하고자 하였다. 먼저, 8개의 유압실린더에 동일한 인장력이 가해지는 유압밸런싱 장치의 구현에 대한 설계작업을 수행하였으며 초기 개념설계 및 점진적인 상세설계 작업공정을 통해 시제품을 가시화하고자 하였다. Fig. 4에 초기 개념설계를 거쳐 수행한 3D 모델링의 개념도를 명시하였으며 1차 시제품 도면을 자체 검토한 결과, 평가목표에 해당하는 14.7ton의 하중이 걸릴 때 실린더가 하중을 견디지 못하고 휘어지는 구조해석 결과를 확보하였기에 구조적 안정성(Structural stability)을 고려하여 2차 시제품 설계를 수행하였다.

Fig. 5에 본 개발에서 도입된 '유압식 마그네틱 클램프'에 대한 2차 시제품에 대한 상세설계 도면을 나타내었다. 설계 후, 시제품의 구조적 안정성을 검증하기 위해 구조해석을 수행하였으며, 검토결과 특이사항은 나타나지 않았다.

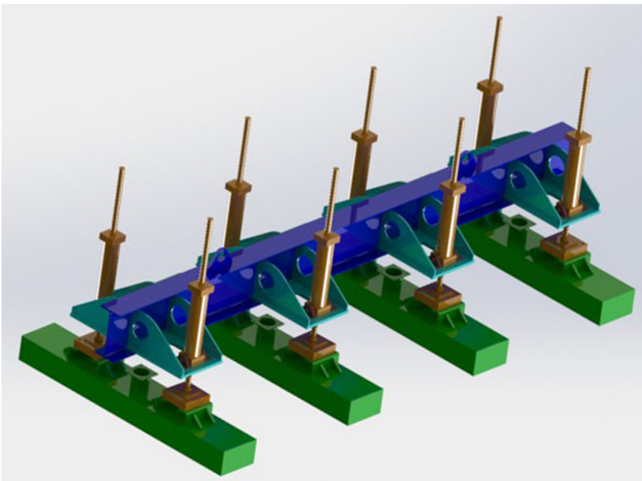


Fig. 4 Initial modelling image to apply to a hydraulic and magnetic clamp device system

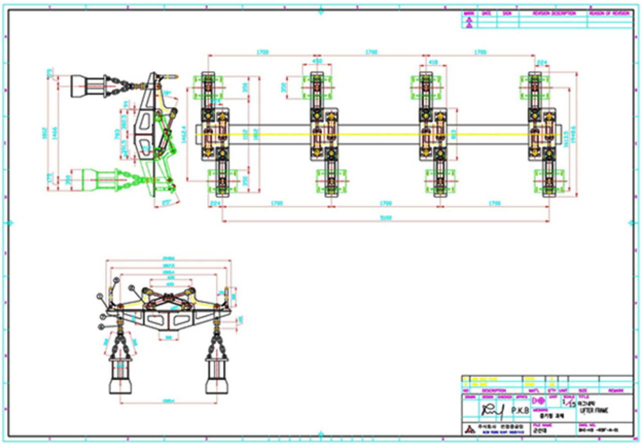


Fig. 5 Drawing image with respect to a hydraulically-balanced magnetic clamp device

3차원 모델링의 경우 3D-Modelling tool(3D-MAX)를 활용하여, 8개의 유압실린더에 동일한 인장력이 가해지는 유압밸런싱 장치의 가시화 및 구현에 대한 모델링 작업을 하였다. 개발하고자 하는 신개념의 마그네틱 크레인 이송장치의 경우, 설비시스템은 베이스프레임(청색) + 마그네틱 연결부(황색) + 유압장치(녹색)로 크게 구성이 되며, Fig. 6에 3차원 모델링에 대한 개략도가 나타나 있다.

본 기술개발의 성능 목표수치와 관련, Table 1에 각 제반 평가항목에 대한 정량적인 수치 및 목표치가 명시되어 있다. Table 1에 있는 평가항목의 정량수치를 검토해 보면, 마그네트 접착력이 가장 많은 비중(40%)을 차지하면서 가장 중요한 평가항목에 해당된다는 것을 알 수가 있다. 이를 위해 마그네트 흡착력에 대한 성능해석을 외부 전문기관 위탁하에 수행하여 성능시험 시 필요한 기초자료로 활용하였다. 특히, 기존 6G에서 8.2G 정도에 해당하는 흡착력(접착력)을 보여 주기 위해서는 영구자석의 종류, 특성 및 적용 등에 대한 검토가 필요하였다.

이송시간의 경우 기존과 비교 시, 개발목표치에는 큰 변화가 없으며, 호이스트 장력의 경우 기존수치 보다 조금 증가된 147kN(14.7ton)의 수치를 개발 목표로 하였다. 본 연구의 경우에는 사업성과의 신뢰성(Reliability) 확보를 위해 개발목표치(14.7ton)에 거의 근접한 15ton 규모의 '유압식 마그네틱 클램프'

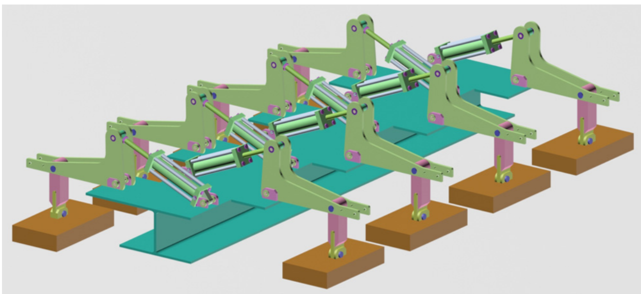


Fig. 6 Modelling image to show a hydraulically-balanced magnetic clamp device

Table 1 Several performance evaluation items for this study

Evaluation item	Unit	Percent [%]	Domestic	R&D purpose
1. Curve ratio	mm	10	-	131
2. Magnetic adhesive force	G	40	6	8.2
3. Hoist tension	kN	10	135	147
4. Transp. time	sec	20	120	120
5. Load applied to cylinder	kgf	20	1,200	1,200

이송장치를 개발하고자 하였다. 유압식 마그네틱 크레인의 안정성을 감안하면서 최종평가 시에는 KOLAS 공인 인증기관 감독관 입회하에 제작된 시제품에 대한 성능평가를 KS, ISO 규격 절차서에 나와 있는 방식에 준해 시행하였다.

3. 시험 분석 및 고찰

3.1 유압식 마그네트 클램프 시제품 제작

본 개발에서 '유압식 마그네틱 클램프 시제품'은 실린더 연결부 + 베이스 프레임 + 마그네트 연결부로 크게 구성되어 있으며, 유압실린더와 영구자석이 주요 구성품에 해당된다. 영구자석은 원소재를 해외에서 수입하여 가공 제조하는 방법으로 준비를 하였으며, 유압실린더(8개에 해당)는 상세설계에 준해 국내 유압실린더 전문업체를 통해 구매하는 경로를 통해 준비하였다.

영구자석 구매와 관련, 특기사항은 최고의 성능을 보여주는 영구자석의 경우 자석에 이용되는 일부 합금원소 매장량이 범세계적으로 일부 지역에 제한되어 있다는 점에서 상당히 고가이며 경제적 측면에서 사업비의 재료비 검토가 필요하다는 점이다.

유압식 마그네틱 클램프의 시스템 골격을 형성하는 베이스 프레임의 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 프레임을 구성하는 주요 의장품을 CP(cutting plan)에 준해 절단하여 자체 제작하였다. Fig. 7에 본 연구에서 시제품의 하중을 지탱하며 전체적인 몸체역할을 수행하는 베이스 프레임의 전경을 나타내었다.

Fig. 7 Image of base frame body used for this study

Table 2 The physical property of Sr ferrite-permanent magnet used for this study

Grade	*Br* [G]	*Hc* [Oe]	
		b*Hc*	i*Hc*
Y30	3700 ~ 4000	2500 ~ 2640	2600 ~ 2770

유압식 마그네틱 클램프 시제품의 핵심 구성품에 해당하는 영구자석은 Sr(스트론티움) 페라이트계 영구자석을 이용하였으며, 해당 영구자석의 물성치는 Table 2에서 보는 바와 같다. 잔류 자속밀도(*Br*) 및 보자력(*Hc*)과 관련하여, Sr 페라이트계($SrO \cdot 6Fe_2O_3$)영구자석은 3700~4000 Gauss의 *Br*(G) 및 2640/ 2770 Oersted의 *Hc*(Oe)를 함유하고 있다. Sr 페라이트계 영구자석의 경우 물성표에서 보는 바와 같이 평균 보자력(b*Hc*)은 2500~2640 Oe, 원보자력(i*Hc*)은 2600~2770 Oe에 해당된다. 해당 영구자석은 경제적 관점에서 가격 대비시 적절한 잔류 자속밀도 및 보자력을 구비하고 있다는 측면에서 경질자성재료에 상당히 많이 적용되고 있다. 특히, 최고의 잔류자속밀도 및 보자력을 보여주는 반면, 소재가격이 상당히 고가에 해당되는 Sm계, Nd계 영구자석과 많은 비교가 된다.

영구자석 몸체의 내부 구성품 전경이 Fig. 8 및 9에서 보여진다. 원통형 페라이트 영구자석 층간에는 SS400(일반 구조용 압

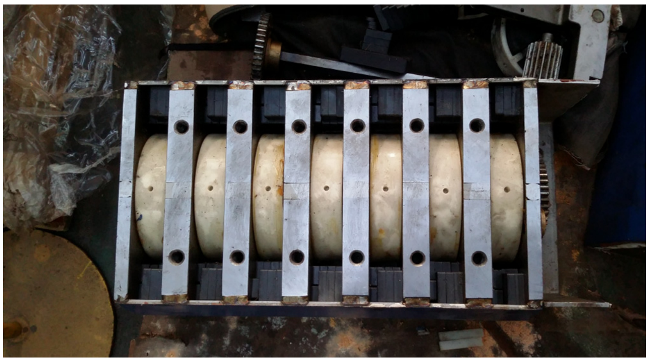


Fig. 8 Image of Internal components in the permanent magnet used for this study

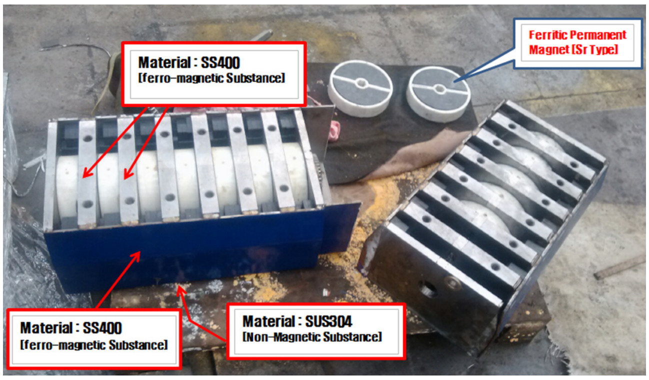


Fig. 9 Image to show the relationship between the individual components and the relevant materials usedfor the permanent magnet body

Fig. 10 Image to show the hydraulic cylinder used for the hydraulic, magnetic clamp device

Fig. 11 Image of magnetic arm unit composed of 2 side plates and 1 rib plate used to connect the hydraulic cylinders

연강재)이 강자성체로서 영구자석과 연계하여 Partition 역할을 하고 있다. 영구자석 몸체의 side판의 경우에도 동일한 SS400을 적용하였다. 영구자석 몸체의 프레임 하단부는 오스테나이트계 비자성체 스테인레스강인 SUS304를 이용 해 하단부를 구성하였다.

유압식 마그네틱 클램프의 주요 구성품인 유압실린더의 경우 작동 기구와 관련, 8개의 구성품이 밸런싱(Balancing)을 유지하면서 유압식 마그네트 클램프 작동시 압축 및 인장과정을 동시에(Simultaneously) 수행하도록 제작하였다. Fig. 10에 유압실린더 전경이 보여진다.

유압실린더의 경우 8개의 실린더가 유압식 연동작용을 할 수 있도록 유압 배관라인이 설치되어 (4set/라인, 2EA/1set) 마그네트 클램프를 구성하도록 하였다. 베이스 프레임 상단에서 유압실린더를 체결해주는 역할을 하는 '마그네틱 암 유니트'의 경우 2개의 사이드 플레이트 및 1개의 리브 플레이트로 구성이 되며 마그네트 암 유니트의 전경이 Fig. 11에 보여진다.

3.2 성능시험 수행 및 평가시 정량적 수치 확보

상기 베이스 프레임, 영구자석 및 유압실린더를 연결 및 조립하여 본 개발에서 목표로 하는 '유압식 마그네틱 클램프 시제

Fig. 12 Image of a assembled hydraulic –magnetic clamp

품'을 제조하였으며 Fig. 12에 시제품의 전경이 보여진다. 시제품을 제작한 후에는 정상적으로 작동되는 여부를 확인하고자 곡가공 철판을 시험 대상으로 하여 시운전을 수행하였다. 이 과정에서 유압실린더 배관라인의 정상 작동여부, 유압실린더의 밸런싱 동작상태, 영구자석의 흡착력 상태 등 각종변수를 고려하여 내부 점검 및 수정작업을 시행하였다. 이후 본 과제에서 최종 목표로 하는 성능평가를 외부 전문 시험기관(KOLAS 인증기관) 감독관 입회하에 2장에서 언급한 5개의 평가항목에 대해 시행하였다.

성능평가 시 목표로 하는 5개의 평가항목에 대해 개별적으로 시험평가를 시행하였다. 우선, 이송곡판 곡률(mm) 경우 평가하고자 하는 곡가공 철판에 대해 목표치(131mm)를 초과하는 160mm의 곡률반경을 획득하였다. 곡률반경 측정시 지그설비를 이용하여 곡가공 철판의 한쪽 부위를 고정한 후 다른 부위를 정밀 계측하는 방법으로 곡반경을 측정하였다.

이송시간(sec)의 경우 유압식 마그네틱 클램프 이송장치를 이용하여 한 지점에서 곡가공 철판을 들어 올린 후 50M까지 안전하게 이송을 하면서 목표지점에 도착하는데 소요되는 시간을 Stop watch로 측정하였다. 곡가공 철판을 이송하는데 소요시간은 1min 21sec (81sec)를 기록하였으며 목표치(120sec) 시간을 단축하는 데이타를 기록하였다. 실린더 하중(kgf)의 경우 호이스트에 걸리는 장력(Tension)을 토대로 하여 8개의 실린더가 밸런싱을 유지하면서 동시에 작동시 개별 실린더에 걸리는 하중(kgf)을 계산하였으며 목표치에 근접한 1,250kgf의 수치를 획득하였다.

호이스트 장력(kN)과 관련하여, 두께 21mm의 15톤 곡가공 철판을 대상으로 유압식 마그네틱 클램프 시제품을 이용하여 리프팅을 시행하면서 목표지점까지 안전이송을 하였으며, 목표치(147kN)와 거의 유사한 150kN의 수치를 확보하였다. 마그네트 접착력과 관련, 영구자석으로 곡가공 철판을 흡착시 가우스미터(Gauss-meter) 계측장비를 이용하여 가장 주요한 물성치인 영구자석의 흡착력을 측정하였으며 목표치 8.2G 대비, 8.7G의 흡착력을 확보하는 시험을 수행함으로써 본 기술개발의 목표인 개발 시제품에 대한 성능평가 목표치를 충족하였다.

Table 3 Results as to performance evaluation items

Evaluation item	unit	perc. [%]	R&D pur pose	performance value
1. Curve ratio	mm	10	131	160
2. Magnetic adhesive force	G	40	8.2	8.7
3. Hoist tension	kN	10	147	150
4. Transp. time	sec	20	120	81
5. Load applied to ylinder	kgf	20	1,200	1,250

(a)

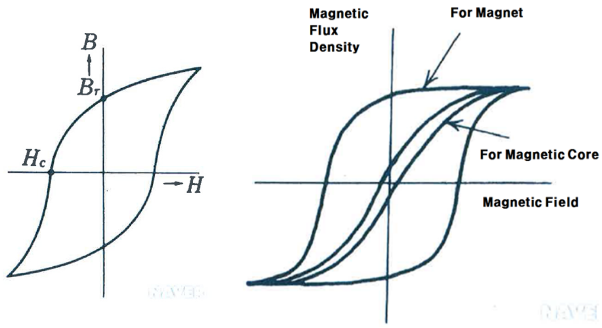
(b)

Fig. 13 Image of a hydraulic-magnetic clamp crane to lift the curved steel plate; (a) before action, (b) during action

3.3 마그네트 흡착력 및 관련 자기특성에 대한 고찰

3.3.1 영구자석의 흡착력에 대한 검토

B-H (*B* : 자속밀도, *H* : 자계의 세기) 곡선에서 보는 바와 같이 자성체를 자화한 다음 자계를 0으로 되돌릴 경우 잔류 자속밀도 Br이 존재하게 된다(Fig. 14 (a) 참조 요망). 따라서 잔류 자속밀도(*Br*)가 큰 물질을 사용하면 강한 영구자석이 얻어지게 되며,



(a) (b)

Fig. 14 The diagram of typical hysteresis loop; (a) B-H curve, (b) types of various hysteresis loops (for magnet and magnetic core)

영구자석으로서 중요한 요구 조건은 보자력(*Hc*)이 커야 한다는 점이다(Strnat, 2008; Cho, 1988). 특히, 자성체에 발생하는 자속밀도는 작용하는 자계의 세기가 같더라도 그 이전의 자화상태에 따라 상이한 값을 보여주게 되며, Fig. 14 (b)에서 보는 바와 같이 그 용도(자석용, 자심용)에 따라 유형을 달리하며 전형적인 히스테리시스 루프(Hysteresis loop)를 보여준다(Nesbitt and Wernick, 1973; Schaffer et al., 1995).

영구자석의 접착력과 관련하여, 성능시험시 높은 흡착력을 얻기 위해서는 일단 잔류 잔속밀도(*Br*, G)가 높아야 한다. 아울러, 우수한 보자력(*Hc*, Oe)을 겸비하는 조건을 확보하여야 한다.

본 기술개발에서는 핵심 항목에 해당되는 마그네틱 접착력 (G)과 관련하여 정량적 목표수행을 위해 Sr 페라이트계 영구자석을 이용하였다. 특히, 우수한 보자력을 유지하면서 곡가공 철판을 안전하게 이동시킬 수 있는 영구자석의 흡착력에 대한 검토를 하였다.

Fig. 15에서 보는 바와 같이, 외부변수(철판두께, 간극, 재질 및 표면조도) 및 영구자석 흡착력의 상관관계를 분석하였으며 각 결과치는 다음과 같다. 철판두께의 경우 두께가 증가할수록 흡착력은 상대적으로 완만한 곡선의 변곡점을 따라 증가하는 경향을 보여주었다. 반면, 간극(자석과 철판면과의 틈새)의 경우, 간극이 증가할수록 흡착력은 감소하게 되며, 간극 증가 대비시 흡착력은 반비례하는 경향구조용 강재(SS400)순으로 흡착력은 증가하는 경향을 보여주었다.

재질과 관련하여, 중탄소강(0.45%C, S45C) 혹은 페라이트계 스테인레스강(SUS430)< 일반구조용 압연강재(SS400) 순으로 흡착력은 증가하는 경향을 보여 주었다. 특히, 표면조도에 대해서는 곡가공판 표면이 매끄럽고 이물질이 없는 상태에서 높은 흡착 성능을 보여 주었다.

Fig. 16에 높은 흡착력을 보여주는 영구자석의 배치에 대한 개략도가 보여진다. Fig. 16 (b)와 같이 동일한 극성으로 영구자석을 조립하여 배치할 경우 자력방향이 아래로 향하면서 자기장의 증가효과가 보다 우수한 것으로 검토되었다. 반면, Fig. 16 (a)와 같이 역극성으로 영구자석을 조립 및 배치시에는 N극에서 S극으로 일부 자기장 분산효과가 나타나면서 자기장의 증가

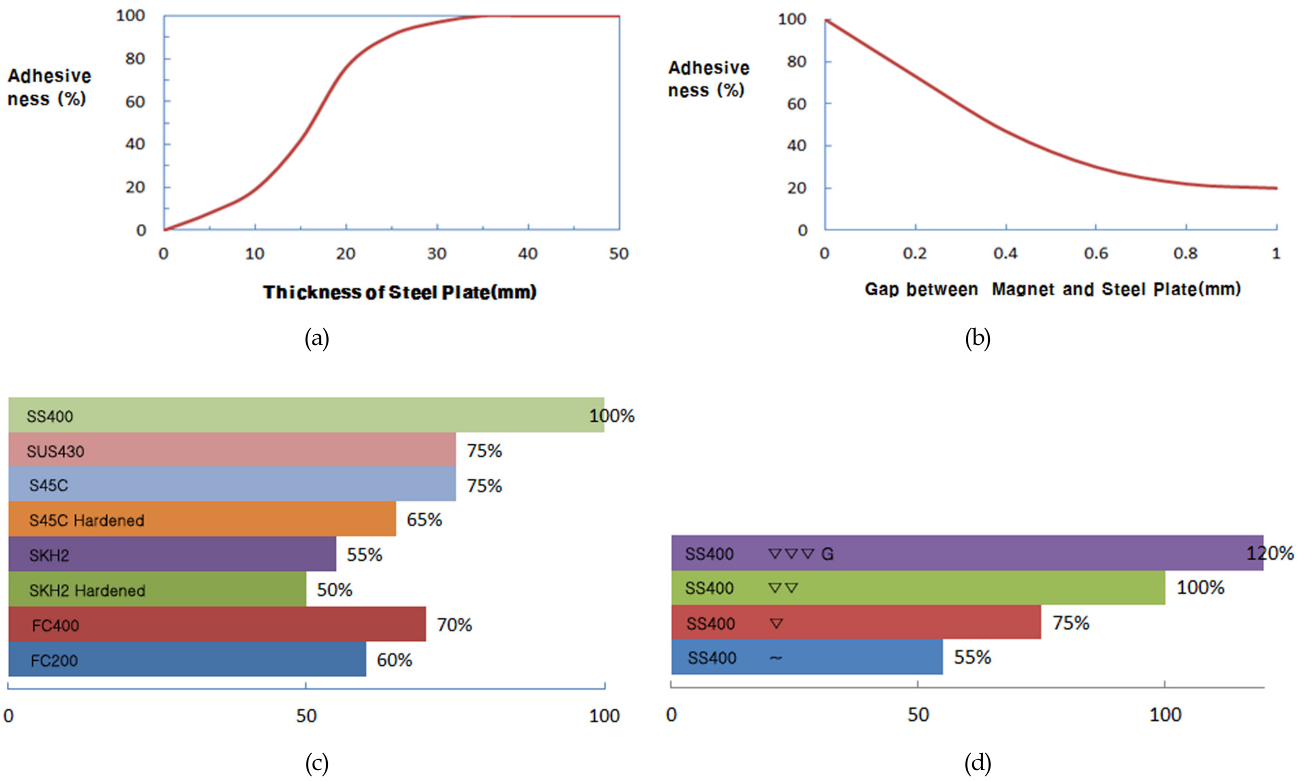


Fig. 15 The relationship between adhesive force and outer variables; (a) steel plate, (b) gap, (c) material, (d) surface roughness

Fig. 16 Schematic image of arrangement in permanent magnet; (a) reverse polarity, (b) same polarity

효과는 상대적으로 감소하는 것으로 평가되었다.

3.3.2 영구자석 유형 및 관련 자기특성에 대한 고찰

본 '유압식 마그네틱 클램프'의 핵심 구성품에 해당되는 영구자석 구매시 재료비 측면을 감안하면서 자기적 성질을 고려하여 개별 소재의 유형, 물성, 용도, 가격 등에 대해 사전에 신중한 검토를 할 필요성이 있었다.

영구자석, 즉 경질 자성재료는 크게 알니코(Fe-Co-Ni-Al계 합금) 자석, 페라이트 자석, 희토류 자석의 3종류로 구분할 수 있다. 알니코 자석은 철에 알루미늄, 니켈, 코발트를 첨가한 합금으로, 다양한 온도변화에 적용할 수 있으며 저가이면서 온도특성이 우수해 공업적으로 널리 이용되는 반면, 보자력(Hc)이 상대적으로 저조하다는 단점이 있다. 즉, 흡착 및 탈착을 반복하여 현장에 적용할 경우 자기력이 상대적으로 떨어지는 단점이 있으며, 가격면에서 저가인 영구자석으로 보편적으로 이용된다.

페라이트 자석은 Sr 페라이트계($SrO \cdot nFe_2O_3$)와 Ba 페라이트계($BaO \cdot nFe_2O_3$)가 대표적으로 이용된다. Sr 페라이트계는 Ba계에 비해 보자력이 높고 성능이 우수한 반면, 가격이 비싼 편에 해당한다. 페라이트계 자석은 제조시 분말가루를 만들어 성형, 소결(Sintering)하는 과정을 통해 분말 야금법에 의해 만들어지며 효율성이 우수하며 다양한 수요처가 예상된다. Fig. 17에 개별 영구자석의 형상 관련 자료를 나타내었다(Comstock, 1999; Helmut, 1995).

희토류계 자석은 영구자석의 고성능화를 위해 최근 개발된 분야로서, 자기 특성이 매우 우수하고 영구자석으로서 최고의 성능을 나타낸다. 희토류계의 주종은 Sm-Co계이나, 최근 분말 야금법(1~10㎛)에 기인하여 Nd-Fe계 자석이 개발되어 뛰어난 자기 특성 때문에 세계적으로 주목을 받고 있는 실정이다. 다만, Sm-Co계의 경우 주원료인 Co가 지구상에 일부 지역에 한정되어 있으므로, 사마리움(Sm)의 대체 재료로 개발된 것이 네오디뮴(Nd) 자석이다.(Hench and West, 1990).

보자력(Hc)과 관련하여, 알니코 < 페라이트 < Sm < Nd 순

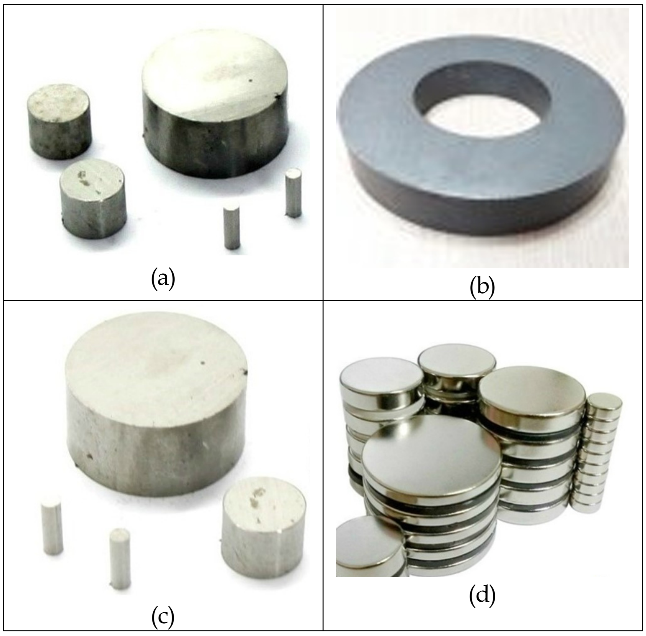


Fig. 17 Figures to show individual shapes of relevant permanent magnets; (a) AlNiCo, (b) Ferrite, (c) Sm-Co, (d) Nd-Fe

으로 보자력이 증가하는 것을 알 수가 있다. 반면에, 잔류 자속밀도(Br)는 알니코 자석이 페라이트 자석보다 다소 높다는 점을 감안할 경우, 페라이트 < 알니코 < Sm < Nd 순으로 증가하는 것을 알 수가 있다. Table 4에 영구자석의 보자력 및 잔류 자속밀도에 대한 상대적인 비교치가 나타나 있다(ASM, 1980).

특기 사항은, 알니코의 경우 보자력이 상대적으로 작은 반면, 잔류 자속밀도가 높아서 외부자계에 의해 쉽게 자화되면서, 감자(Demagnetization)가 일어난다는 단점을 가지고 있다. 투자율(μ, Permeability)이 자속밀도(B)/ 자계의 세기(H)이라는 점을

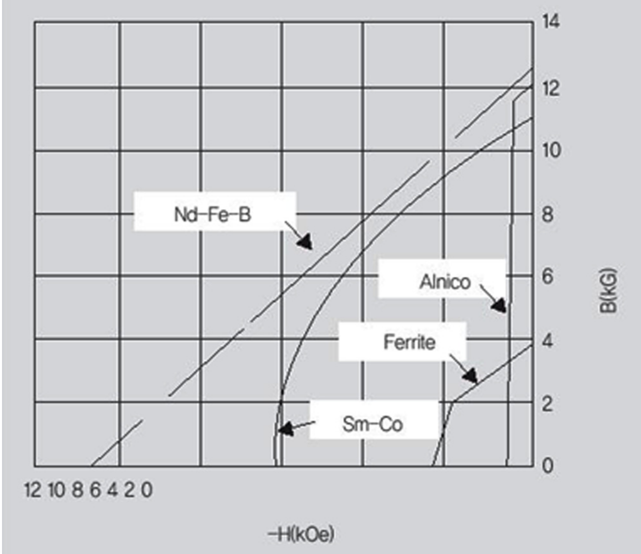


Fig. 18 Relevant comparison graph to show the demagnetization characteristics in permanent magnets

감안하면, 알니코는 고투자율 영구자석에 해당된다고 볼 수 있다. Fig. 18에 영구자석의 감자특성 곡선을 나타내었으며, 알니코의 경우 감자(탈자)가 상당히 쉽게 일어난다는 것을 알 수가 있다.

본 기술개발에서는 선박제조용 대형 곡가공 철판을 이송하기 위한 장치로서, '유압식 마그네틱 클램프 시제품'을 제작하는데 주안점을 두었으며, 이 과정에서 시제품에 대한 안정성을 고려하면서 성능평가를 수행하여 제반 평가항목에 대한 정량적 수치 및 개발 목표치를 확보하고자 하였다. 특히, 선박 곡가공품을 운반시 안전사고를 예방하고 효율적으로 이송하기 위한 장치로서, 기존의 전자석이 아닌, 영구자석을 이용한 시제품을 제

Table 4 Comparison table in the main physical properties of permanent magnets

Types	Ferrite	AlNiCo	Samarium	Neodimium (NdFeB)
Chemicalc component	$SrO\cdot 6Fe_2O_3$	AlNiCo	$SmCo_5$ Sm_2Co_{17}	Nd-Fe-B
Residual conduction (Br) [Gauss]	3,600 ~ 4,400	6,500 ~ 14,000	8,200 ~ 11,600	10,000 ~ 13,000
Coercive force (Hc) [Oersted]	2,800 ~ 3,000	600 ~ 1,500	8,200 ~ 20,000	11,000 ~ 25,000
Maximum energy (BH) Meg[GOe]	2.9 ~ 4.8	2.5 ~ 9.5	16 ~ 32	25 ~ 43
Temp. charact. of Br [%/C]	-0.2	-0.02 ~ -0.03	-0.03 ~ -0.045	-0.11 ~ -0.13
Temp. charact. of Hc [%/C]	0.3	0.01 ~ 0.03		
Curie Temp. [℃]	450	850 ~ 890	750 ~ 850	320
Max. use temp. [℃]	250	550	250 ~ 350	80 ~ 200

작하고자 하였다.

향후, 국내 50여개의 블록 제작업체에서 본 개발품을 도입할 경우 제품의 생산 공정을 감안하여 생산성 향상을 가져오며, 작업환경 개선에도 기여할 것으로 예상된다. 본 '유압식 마그네틱 클램프 이송장치'는 마그네트 설비를 사용하는 업체의 안정성에 크게 기여하면서 국내 중소조선소 블록업체에서 곡면철재를 이송하는 크레인으로 다양하게 사용될 전망이다.

최신 마그네트 동향과 관련, 국내 마그네트 기술과 비교시 미국과 유럽의 경우 선진기술을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며, 크게 기술적 흐름은 '에너지 절약형'과 '자동화설비형' 분야로 분류가 된다. 에너지 절약형은 영구자석과 전자석이 접목된 개념으로 비용절감 차원에서 도입되었으며, 자동화설비형의 경우 생산성 증대를 위해 투자비를 증대해 마그네트와 연계하여 자동화시스템 및 획기적 기술을 적용한 분야에 해당된다.

4. 결 론

선박의 곡블록 가공품 이송을 위한 유압식 마그네틱 클램프 이송장치의 성능평가와 관련, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 유압식 마그네틱 클램프 시제품의 성능평가시 3700 ~ 4000G의 잔류 자속밀도(Br), 2500 ~ 2640Oe의 평균보자력(bHc) 및 2600 ~ 2770Oe의 원보자력(iHc)를 보여주는 Sr계 페라이트 영구자석($SrO \cdot 6Fe_2O_3$)이 핵심 주요 구성품인 영구자석으로 이용되었으며 성능평가에 크게 적용되었다.

(2) Base frame + 실린더 연결부 + 마그네트 연결부로 크게 구성되어 있는 유압식 마그네틱 클램프 시제품에 대해 성능평가를 수행시 마그네트 접착력의 경우 8.7G의 마그네틱 접착력(G)을 보여주었으며, 연구개발전 국내수준인 6G의 수치보다 상대적으로 높은 정량수치를 보여 주었다.

(3) 시제품을 이용하여 대형 곡가공품을 흡착하여 이송하는 성능시험과 관련하여, 150kN의 호이스트 장력(kN), 81sec의 이송시간(sec) 및 1,250Kgf의 실린더 하중(Kgf) 등의 정량적 수치를 보여 주었으며 개발 목표치의 성능수치를 충족하였다.

(4) 본 시제품의 경우 Sr계 페라이트 영구자석과 연계하여 8개의 유압실린더가 밸런싱을 유지하면서 압축 및 인장과정을 동시에 수행하였으며, 선박제조시 적용되는 곡가공품을 안전하게 이송하기 위한 장치로서 적합한 것으로 판정되었으며, 향후 관련 분야에 다양하게 적용 가능할 것으로 사료되었다.

후 기

본 기술개발사업은 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과 (No. 2013H1B8A2023237) 및 중소기업청의 산학연협력 기술개발사업으로 수행된 연구결과(과제명 : 대형상선용 곡가공 철판이송을 위한 유압 바란싱 마그네트 클램프 개발) 에 대한 사업비 지원으로 수행되었습니다.

References

ASM, 1980. Metals Handbook. 9^{th} ed., Vol. 3, ASM International, Materials Park, Ohio.

Barrett, C.S., Nix, W.D., Tetelman A.S., 1973. The Principles of Engineering Materials. Prentice-Hall.

Cho, H.K., 1988. Advanced Materials and Alloys. Kyung Buk National Univ. Press.

Comstock, R.L., 1999. Introduction to Magnetism and Magnetic Recording. Wiley.

Cullity, B.D., 1972. Introduction to Magnetic Materials. Tokyo, Japan.

Helmut, K., 1995. Micromagnetism of hard and soft magnetic materials. Journal of the Korean Magnetics Society, 5(5), 366-371.

Hench, L.L., West, K., 1990. Principles of Electronic Ceramics. John Wiley & Sons, Inc.

Nesbitt, E.A., Wernick, J.H., 1973. Rare Earth Permanent Magnets. Academic Press, New York.

Schaffer, J.P., Saxena, A., Antolovich, S.D., Sanders, T.H., Warner, S.B., 1995. The Science and Design of Engineering Materials. Richard D. Irwin, Inc.

Smith, W.F., 1990. Princiles of Materials Science and Engineering. Mcgraw-Hill.

Strnat, K.J., 2008. Rare-earth magnets in present production and development. Journal of Magnetism and Magnetic Material, 7(1), 351-360.