

論 文

LIBL기반 퍼지 조타 조작모델의 구현

박계각* · 서기열**

Implementation of Fuzzy Steering Model
with Linguistic Instruction Based Learning

Gyei-Kark Park* and Ki-Yeol Seo**

〈 目 次 〉

요 약

1. 서 론

2. 언어지시기반학습

2.1 언어지시부와 대화부

2.2 배경지식부

2.3 지시언어해석부와 자기조정화부

2.4 작업수행부

3. 퍼지 조타 조작모델

4. 시뮬레이션 및 결과고찰

4.1 시뮬레이터 구성

4.2 언어지시모드 설정

4.3 시뮬레이션 결과

5. 결 론

참고문헌

요 약

최근에는 전문가의 지식과 경험정보가 데이터베이스로 구축된 전문가 시스템의 정보를 이용하여 처리된 결과를 판단하여 안전하고 효율적인 선박운항이 가능하도록 한 지능형 선박에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 지능형 선박을 구현하기 위한 연구의 일환으로써, 선박의 조타기를 제어하기 위한 지능형 조타 조작 모델을 구현한다. 지능형 시스템을 구현하기 위해서 자연언어를 사용하는 인간의 학습 방법에 기초한 언어지시기반학습(LIBL)기법을 적용하고, 퍼지이론을 이용하여 승선경력이 풍부한 조타수의 경험을 조사 및 분석하여 그 결과를 바탕으로 퍼지 추론에 의해 타각을 제어하기 위한 퍼지 조타 조작 모델을 구현하여 그 효용성을 살펴보았다.

1. 서 론

최근 선박규모의 증가함에 따라 급격한 자동화 기술발전을 이루어 선박조종 분야도 적응형 자동조타 제어 시스템이 주류를 이루고 있고 관련 연구도 활발하게 진행되고 있다[1]. 그러나 기술의 발전에 따른 선박운용은 더욱 복잡해짐으로써 인적요인에 따

른 운행과실이 전체 해양사고의 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 인적요인에 의한 문제를 해결하기 위하여 자동화 선박이 건조되고 있으나, 자동화 선박 운행 역시 선박 운항자의 경험과 지식을 기반으로 선박이 운항되고 그 결과를 사람이 판단하여 운항하므로 인적오류를 크게 배제할 수 없다. 따라서, 전문

*목포해양대학교 해상운송시스템학부 부교수

**목포해양대학교 해상운송시스템학부

가의 지식과 경험정보가 데이터베이스로 구축된 전문가 시스템의 정보를 이용하여 처리된 결과를 판단하여 안전하고 효율적인 선박운항이 가능하도록 한 지능형 선박에 관한 연구도 활발하다[2].

본 논문에서는 지능형 선박을 구현하기 위한 연구의 일환으로써, 선박의 조타기를 제어하기 위한 지능형 조타 조작 모델을 구현하고자 한다. 지능형 시스템을 구현하기 위해서 자연언어를 사용하는 인간의 학습 방법에 기초한 언어지시기반학습(LIBL : Linguistic Instruction Based Learning)기법을 적용하고, 퍼지이론을 이용하여 승선경력이 풍부한 조타수의 경험을 조사 및 분석하여 그 결과를 바탕으로 퍼지 추론에 의해 타각을 제어하기 위한 퍼지 조타 조작 모델을 구현하고자 한다.

2. 언어지시기반학습

자연언어를 이용하는 인간의 학습방법에 기초한 퍼지 학습방법인 언어지시기반학습은 G. K. Park 및 M. Sugeno가 제안한 시스템으로서 부여된 언어지시를 지금까지 가지고 있는 지식과 결부시켜서 지식을 새롭게 획득하는 것이다. 지시자의 언어지시에 의해서 컨트롤러를 수정하고, 지시의 의도를 만족해 가는 언어 레벨의 학습으로서, 학습 대상 모델을 의미소로 분류하고, 의미소간의 인과 네트워크를 이용해서 평가요소의 탐색과 그 경향에 의해 언어지시를 이해한다. 그리고 배경지식에 기초해서 평가 규칙을 생성하고, 제어규칙의 후진부를 수정한다. 언어지시

학습법은 Truck Backer-Upper Control System, Helicopter Flight Control System, Dynamic System 그리고 제어규칙 조정법과 Fuzzy Classifier System에 적용하여 그 유효성이 검증된 기법으로 LIBL의 기본 구성은 그림 1과 같다[3-7].

2.1 언어지시부(LI)와 대화부(Dialogue)

항해사(Officer)가 시스템의 대화부 설명을 바탕으로 성능을 관찰하고 판단하여 대화상자를 통해서 다음과 같은 형식의 언어지시를 입력한다.

$$L_i = [LH][AW][HA][AP]$$

여기에서, LH는 언어헤지(Linguistic Hedge), AW는 부사(Adverb Words), HA는 방위각(Heading Angle), AP(Auxiliary Phrases)를 각각 의미한다. 조타기 제어 시스템의 경우를 예를 들면 다음과 같은 언어지시의 형태로 대화부의 대화상자를 통해 입력된다.

$$L_i = [\text{좀더}(LH)][\text{빠르게}(AW)][180\text{도로}(HA)][\text{추중하라}(AP)]$$

2.2 배경 지식부

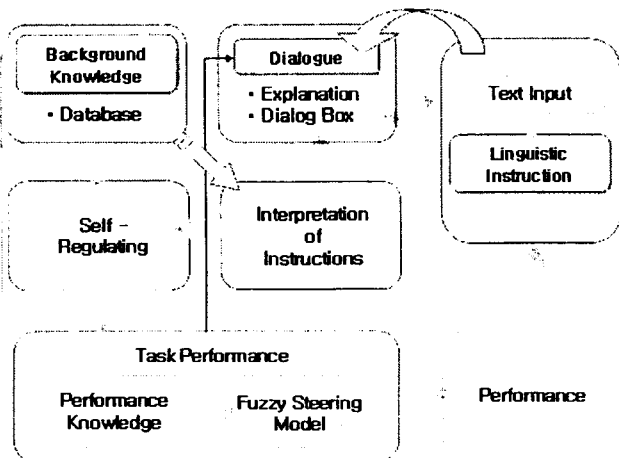
배경 지식부(Background Knowledge)는 일반 데이터베이스와 지식 데이터베이스로 구분하여 구축한다. 일반 데이터베이스는 실제 선상에서 일반적으로 사용하는 조타관련 명령을 데이터베이스화하여 일반 조타명령이 입력될 경우 해당 조타각을 조정하도록 설정하고, 지식 데이터베이스(Knowledge Database)는 언어지시명령과 해당 언어지시에 따른 의미소 평가 결과값을 저장하여 타각을 제어하도록 구성한다.

2.3 지시언어 해석부와 자기 조정화부

2.3.1 의미소 선정

지능형 조타기 제어 시스템의 경우 시스템의 응답 결과를 판단할 수 있는 타각(ΔmR_θ), 도달시간(ΔmT_s), 안정상태(ΔmS_θ)로 의미소를 설정한다. 각각의 의미소는 (+), (0), (-) 세 가지의 경향을 가진다.

예를 들어, 『좀더 빠르게 180°로 선회하십시오』라는 언어지시(L_i)가 내려지면 데이터베이스를 검색하여 해당 언어지시가 있는지를 살펴보고 해당 언어지시 데이터베이스 내에 존재하면 각 변수에 따른 제



〈그림 1. 언어지시기반학습(LIBL)의 구성〉

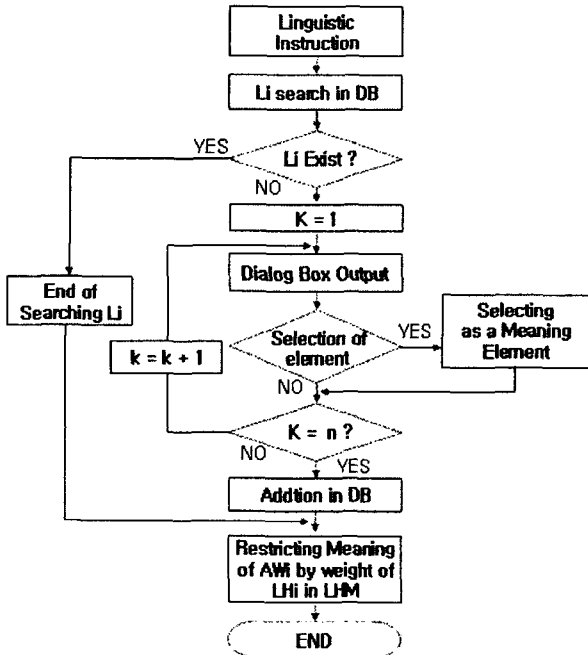
어를 행하고, 해당 언어지시가 데이터베이스 내에 존재하지 않으면 시뮬레이터는 대화상자를 출력하여 사용자에게 의미소를 설정하기 위한 질의를 시작한다.

- 타각 증가인가? if) YES, $\Delta mR_{\theta}(+)$
- 설정침로 도달시간 감소인가? if) YES, $\Delta mT_s(-)$
- 안정상태 개선인가? if) NO, $\Delta mS_{\theta}(+)$

시스템의 질문에 대한 답변 여부에 따라 각각의 의미소를 선택하고 제어규칙을 결정하게 된다. 이렇게 선택된 의미소에 [좀더]라는 언어헤지를 설정하여 제어규칙을 수정하여 최종적으로 조타기에 의한 타각을 변경 제어한다. 위의 언어지시에 의한 의미소 선택 결과는 다음과 같다.

$$L_i = (LH_i) (\Delta mR_{\theta}(+) \text{ and } \Delta mT_s(-)) \quad (1)$$

그림 2는 지시자의 언어지시를 평가하기 위한 의미소의 경향을 선택하는 과정을 나타낸다. 그림 2에서 n은 의미소의 수로서 본 조타제어시스템에서 n=3이고, LHM은 미리 준비해둔 언어헤지의 모듈이다.



<그림 2. 의미소 선택 과정>

2.3.2 평가규칙 작성

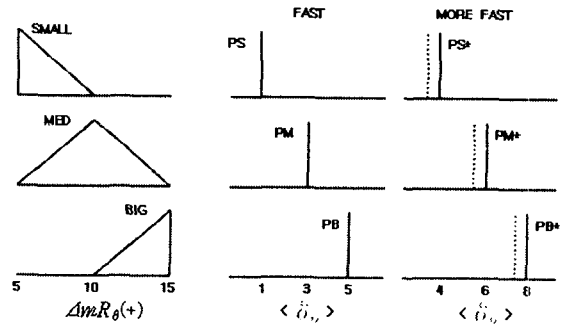
언어지시에 대해서 각 의미소와 그 경향이 탐색되면, 배경지식을 이용해 그 요소와 경향별로 평가 규칙을 작성한다. 각 요소별로 이용하는 전건부의 멤버

쉽 함수는 SMALL, MED, BIG이고, 후건부는 각각의 전건부에 대응하는 경향별 세 가지씩의 멤버쉽 함수를 준비해둔다. 그림 3은 의미소 $\Delta mR_{\theta}(+)$ 가 선택되었을 경우의 평가 규칙의 예를 나타낸다.

언어 헤지에 의한 의미의 한정은, W_{LHi} 의 값을 평가 규칙에 반영하는 형태로 행해진다. 아래의 식으로부터 후건부의 파라미터의 이동량 ΔH 를 구해서 언어 헤지에 의해 한정된 평가 규칙을 작성한다.

$$\Delta H = W_{LHi} \cdot \Delta R \quad (2)$$

R : 언어 헤지에 의한 후건부의 최대 이동량(R=5.0)



<그림 3. 평가 규칙 구성>

언어 헤지[MORE]($W_{LHi} = 0.6$)에 의한 후건부의 이동량은 $\Delta H = '0.6 \cdot \Delta R$ 이고, [좀더 빠르게]의 평가 룰이 작성된다. 그림 3과 같이 언어헤지의 효과가 반영되어 평가규칙의 최종적인 후건부는, PS^* , PM^* , PB^* 가 된다. 언어 헤지에 가중치를 달아서 미리 준비해둔 결과는 다음과 같다.

[없음, 0.0], (약간, 0.2), (다소, 0.4), (좀더, 0.6), (더욱, 0.8), (매우, 1.0)]

언어 헤지에 의한 평가 규칙의 후건부의 최대이동량 = 5.0으로 설정하였다[3].

의미소의 평가규칙은 단일 입출력 퍼지 추론기관으로 구성된다. 예를 들어, 타각 증가 $\Delta mR_{\theta}(+)$ 다음과 같은 규칙을 갖는다.

- If $\Delta mR_{\theta}(+)$ is small, then δ_u is PS
- If $\Delta mR_{\theta}(+)$ is medium, then δ_u is PM
- If $\Delta mR_{\theta}(+)$ is big, then δ_u is PB

2.3.3 자기 조정화부

평가규칙에 의하여 구해진 언어지시를 반영한 추가타각 δ_u 가 구해지면, 조타수 조작모델의 원시제어

규칙에 의하여 구해진 조타각 δ 와 δ_u 를 합성하는 형식으로 자기조정화가 이루어진다. 언어지시가 내려졌을 경우에 최종적인 타각 δ^* 는 식(3)과 같이 구해진다.

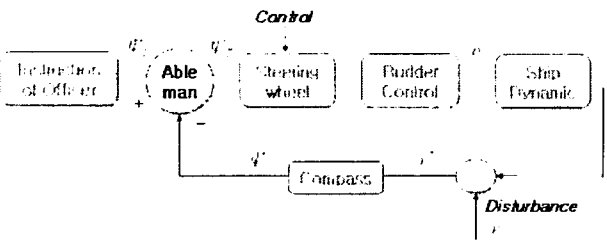
$$\delta^* = \delta + \delta_u \quad (3)$$

2.4 작업 수행부

작업 수행부(Task Performance)는 조타수의 조타 방식을 조타수의 경험에 의하여 작성된 퍼지 제어모델이 실질적으로 타를 제어하는 기능을 수행한다.

2.4.1 일반적인 선박의 조타 시스템 구성

일반적인 선박의 조타 시스템 구성은 그림 4와 같다. 항해사의 설정방위(Ψ_T)지시가 있으면 조타수는 현재방위(Ψ)와 설정방위를 비교하여 오차가 발생하면 타륜을 조절하여 타각을 결정해 선박을 이동시켜 설정방위를 추종한다.

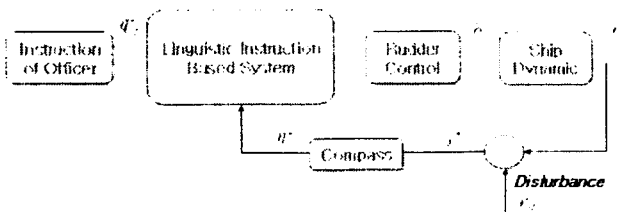


〈그림 4. 일반적인 조타 시스템의 구성〉

여기에서, Ψ_T 는 설정방위, Ψ_E 는 방위오차, δ 는 타각, r 은 타굴절에 의한 선회율, r_d 는 바람/파도 방해로 인한 편요율, 그리고 Ψ 는 실제 선수 방위각을 나타낸다.

2.4.2 언어지시 기반 조타 시스템 구성

LIBL 기반 조타 시스템의 구성은 그림 5와 같다.



〈그림 5. LIBL 조타 시스템의 구성〉

항해사의 언어지시 명령이 입력되면 언어지시기반시스템에서 항해사의 언어지시 의미를 파악해 타각을

적절하게 제어하는 방식이다. 먼저, 일반적으로 조타수가 타각을 제어하는 경험을 바탕으로 퍼지추론을 이용하여 조타수의 타각제어 모델을 구성한다.

본 논문에서 적용한 선박의 방위 계산식은 다음과 같다. 식(3),(4),(5)에서처럼 타각(Rudder angle) δ 에 언어지시에 의한 퍼지추론 결과를 더하여 선회율(r)을 구해 방위를 구하는 형식이다.

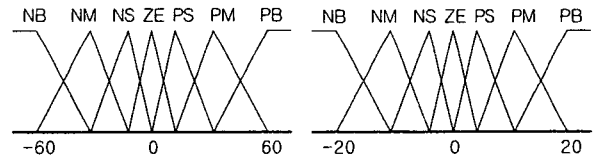
$$r = Rv_t^* \cdot \delta^* \quad (4)$$

$$\Psi = \int_0^t r^* dt, \quad r^* = r + r_d \quad (5)$$

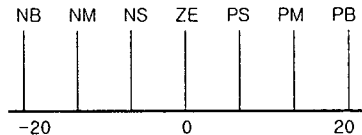
여기에서, r 은 타굴절에 의한 선회율, R 은 보정상수(0.01), v_t^* 는 선속, δ 는 조타수 모델에 의한 추론 조타각, δ_u 는 언어지시에 의한 타각, δ^* 는 δ 와 δ_u 의 타각 합계, r_d 는바람/파도 방해로 인한 편요율, 그리고 Ψ 는 선수 방위를 나타낸다[1].

3. 퍼지 조타 조작 모델

일반적인 조타수의 조작 모델은 승선 경력이 있는 조타수의 경험을 조사 및 분석하여 그 결과를 바탕으로 퍼지추론에 의해 타각 제어를 위한 제어 모델을 구성하였다. 설정방위(Ψ_T)와 현재방위(Ψ) 사이의 오차(Ψ_E)를 전건부의 입력값으로 하고, 후건부의 타각(δ)을 추론하는 방식이다. 시뮬레이션을 위해 사용된 전건부와 후건부의 멤버십 함수는 그림 6과 같다[7].



(a) Membership function of Ψ_E and $\Delta \Psi_E$ [deg]



(b) Membership function of δ [deg]

〈그림 6. Ψ_E , $\Delta \Psi_E$ 그리고 타각 δ 의 멤버십 함수〉

조타수의 경험을 바탕으로 한 조타 조작모델은 다음과 같은 형태의 13개 제어규칙을 이용하였다.

If Ψ_E is PB and $\Delta \Psi_E$ is ZO then δ is PB

If Ψ_E is ZO and $\Delta \Psi_E$ is NB then δ is NB

If Ψ_E is NB and $\Delta \Psi_E$ is ZO then δ is NB

제어규칙의 후건부는 퍼지 싱글턴(Fuzzy

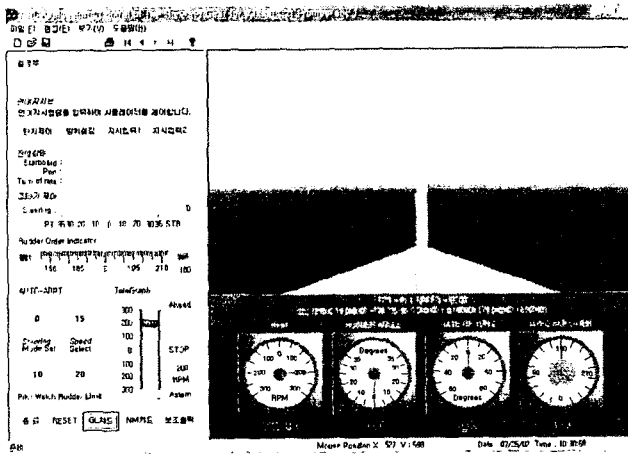
Singleton)을 채택하고, 추론범으로는 Mamdani의 추론법을 이용하고, 비퍼지화방법으로는 무게중심법(COG)을 이용하였다.

대한 응답에 [예],[아니오],[취소]를 선택하게 된다. [예]는 타각 증가를 의미하고, [아니오]는 타각 감소, [취소]는 의미소로 해당되지 않음을 나타낸다.

4. 시뮬레이션 및 평가고찰

4.1 시뮬레이터 구성

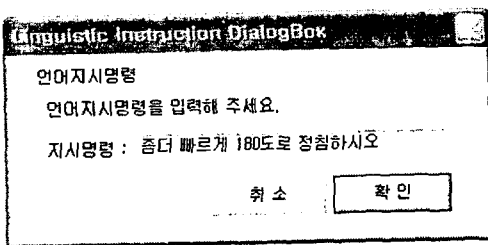
구현된 시뮬레이터의 메인화면은 그림 7과 같다. 실시간 3D 그래픽스를 구현하기 위해 OpenGL을 이용하여 실제 선체의 움직임 알 수 있도록 하였고 [11]. 또한 선속, 타각, 방위 등의 계기부를 구성하여 사용자와 현재 선박의 움직임 상태를 파악할 수 있도록 설정하였다.



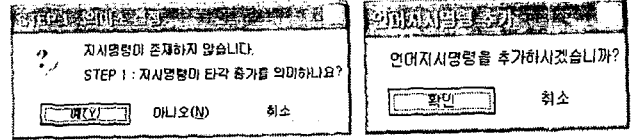
〈그림 7. 시뮬레이터의 메인 화면〉

그림 7에 보이는 것처럼 시뮬레이터 메인 화면에서 명령입력 버튼을 클릭하면 그림 8과 같은 언어지시 명령을 입력받기 위한 대화상자가 출력된다. 지시명령을 그림8과 같이 입력하고, 확인버튼을 클릭하면 의미소 설정을 위한 첫 번째 단계로 지시자와 대화를 시작한다.

의미소 설정에서 "지시명령이 타각 증가인가?" 에



〈그림 8. 언어지시 입력용 대화상자〉



〈그림 9. 의미소 선택을 위한 대화상자〉

해당 언어지시에 따른 의미요소가 설정되면 언어해지를 검색하여 검색된 언어해지에 따른 보정값을 계산하여 그림 8과 같이 언어지시명령을 데이터베이스에 추가하도록 설정하였다. 여기에서 [확인] 버튼을 클릭하면 해당 언어지시와 결과 값이 데이터베이스에 추가된다.

4.2 언어지시모드 설정

일반적인 조타수의 조타모델일 경우를 Normal Mode, 언어지시명령일 경우를 L(Linguistic Instruction) Mode, 그리고 언어해지(Linguistic Hedge)가 있을 경우를 Lh (Linguistic Instruction with LH) Mode로 각각 설정하여 결과를 출력하도록 하였다. 각각의 모드에 대한 언어지시의 예를 들면 표 1과 같다.

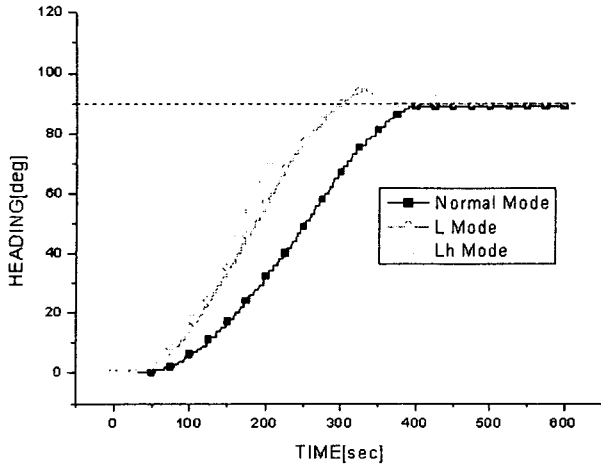
표 1. 언어지시의 예

Mode	언어지시(Linguistic Instruction)
Normal Mode	"180°로 추종하십시오"
L Mode	"빠르게 180°로 추종하십시오"
Lh Mode	"좀더 빠르게 180°로 추종하십시오"

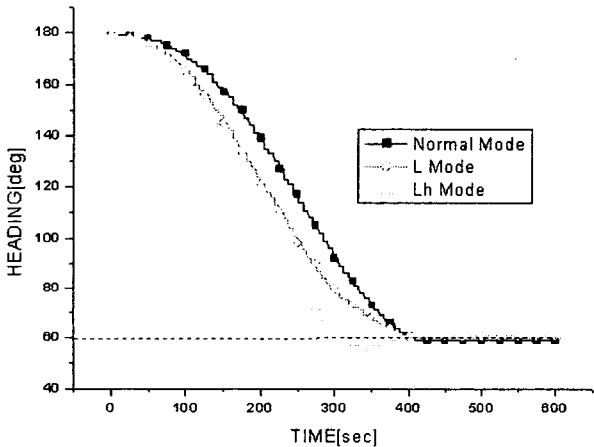
4.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위해 선속은 200RPM으로 일정한 것으로 가정하였고, 바람이나 파도 등의 영향은 고려되지 않았다. 조타수의 조작모델에 의한 일반모드(Normal Mode), 단순 언어지시에 의한 언어지시모드(L Mode), 그리고 언어해지를 포함한 언어지시모드(Lh Mode)로 구분하여 각각 시뮬레이션 하였고, 그 결과를 방위 추종형태에 따라 나타내었다. 현재 방위 0°에서 180°방위 추종의 경우 출력 결과는 그림 9에 나타내었고, 현재 방위 180°에서 60°까지의 방위 추종 결과는 그림 10에 각각 나타내었다.

일반모드, 언어지시모드, 언어해지모드의 각각의 응답특성을 살펴보면 각 설정방위까지의 도달시간은 언어해지모드가 가장 빠른 응답을 보이지만 안정상태 추종까지는 언어해지가 포함된 언어지시모드가 좋은 추종결과를 보임을 확인하였다.



<그림 9. 0°에서 90°로 선회하는 경우>



<그림 10. 180°에서 60°로 선회하는 경우>

5. 결 론

본 논문에서는 자연언어를 사용한 인간의 학습방법에 기초한 언어지시 기반 학습(LIBL) 방법을 선박의 조타시스템에 적용하기 위한 퍼지 조타 조작모델을 구현하였다. 구체적인 연구 결과로는 일반적인 조타수의 경험을 바탕으로 한 조타 조작 모델을 퍼지추론을 바탕으로 구축하였고, 타각, 방위도달시간, 정상상태의 의미소를 제안하였으며, 조타수의 조작 모델 규칙을 수정하기 위한 평가규칙을 제시하였다. 퍼지 추론에 의한 조타수의 조작 모델을 바탕으로

한 일반적인 추종을 일반모드(Normal Mode)로 설정하여 일반모드를 기준으로 언어지시모드(L Mode)와 언어해지가 포함된 언어지시모드(Lh Mode)로 구분하여 각각의 추종결과를 도시하였다. 또한, OpenGL을 이용한 실시간 선박 조종 시뮬레이터를 구축하여 본 시스템의 효율적인 응답결과를 확인하였다.

본 연구에서는 선박 조타에 영향을 미치는 요인인 바람, 파도, 기상조건 등의 영향을 고려하지 않았기 때문에 앞으로 조타에 영향을 미치는 요인까지 고려하여 보다 정확한 언어지시 기반 지능형 조타기 제어 시스템을 구축할 필요가 있으며, 실용화를 위해서는 보다 인간 친화적인 인터페이스를 구현해야 할 것이다.

◆ 참고 문헌 ◆

- [1] K.H.Sohn, G.W.Lee, G.Lim, J.C. Bae, "A Study on the Prediction of Propulsive Energy Loss Related to Automatic Steering of Ships", International Symposium on VTS & IBS '95, November 2~3, 1995.
- [2] 임용근, 박중원, 최병철, "디지털 선박의 구현 방안 연구", 선박해양기술, vol. 33, pp. 15~20, 2002.
- [3] G.K.Park, "Learning Based on Interpretation of Linguistic Instructions Using Fuzzy Theory", Tokyo Institute of Technology, Doctor Thesis, 1993.
- [4] 조중선, 박계각, 정경욱, 박래석, "LIBL을 이용한 다이나믹 시스템의 퍼지제어", 퍼지 및 지능시스템학회 추계학술대회 발표논문집, pp.139~144, 1995.
- [5] G.K. Park and M. Sugeno, "Learning Based on Linguistic Instruction using Fuzzy Theory", Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, vol. 4, No. 6 pp. 1164~1181, 1992.
- [6] G.K. Park and M. Sugeno, "An Approach to Linguistic Instruction Based Learning, International J. of Uncertainty", Fuzziness and Knowledge Based Systems, vol. 1, No. 2, pp. 1956, 1993.
- [7] 박계각, 서기열, "언어지시에 의한 지능형 조타기 제어 시스템", 퍼지 및 지능시스템학회, vol. 12, no. 5, pp. 417~423, 2002.