

퍼지 神經回路網을 이용한 船舶 接離岸 制御

具 滋 允¹⁾, 李 哲 榮²⁾

On the Ship's Berthing Control using Fuzzy Neural Network

Ja-Yun Koo , Cheol-Yeong Lee

Abstract

In this thesis, a new berthing control system was proposed as one of the future intelligent ship's system which can control captain's decision-making as closely as practical using the FNN controller. This berthing controller consists of the navigation part and the berthing part. The supervised learning data were drawn from Ship-Handling Simulator (NAVSIM NMS-90 MK III) and the ship motion characteristics are represented internally. The FNN navigation & berthing controllers are provided with self-tuning mechanisms using fuzzy inferences in accordance with Back-Propagation(BP) for the proper control of the auto-berthing system.

In order to verify the results, the author established a ship mathematical model showing hydrodynamic forces and manoeuvring characteristics of ships at low advance speed, and executed the simulation of FNN navigation & berthing controllers at on-line condition using the above mathematical model with 486 PC in the experiment scenario of Busan Port.

1) 한국해양대학교 해사수송과학과 박사과정 해상수송공학 전공

2) 한국해양대학교 항만운송공학과 교수

The results of ship trajectories of the FNN navigation & berthing controllers were found to be effective to alter the ship's course and to get alongside the goal berth automatically.

In addition, the evaluating measure for the safety of berthing was proposed using the Analytic Hierarchy Process(AHP). The three(3) learning data for FNN berthing and the one(1) FNN auto-berthing data were composed with the scenario A, B, C and D respectively. FNN auto-berthing scenario D was ranked as the second(except evaluating factor "Swept Path") or the third class(including evaluating factor "Swept Path") in safety evaluation of berthing based on AHP when compared with the supervised data scenario A, B and C. According to the result of this experiment, the supervised data for FNN berthing should be adopted with the superior one from those simulated in the Ship-handling Simulator if possible.

This FNN berthing controller is expected to help the captain/pilot to use advisory information as the maritime safety information(MSI) system in the beginning, and finally it could be used as an auto-berthing system for the future intelligent ships.

1. 序 論

低速時의 船體運動과 같은 복잡한 非線形 特性을 가진 시스템이나 불확실한 情報를 가진 데이터를 表現하는 데는 인간의 두뇌 작용을 모방한 神經回路網 (Neural Network)과 퍼지 論理(Fuzzy Logic)가 매우 효과적이다.¹⁾ 그러므로 本 論文에서는 知識을 言語的으로 記述할 수 있는 퍼지推論의 特徵과 神經回路網의 學習法인 逆傳播(Back Propagation; BP)法²⁾을 적용하여 知識을 自動으로 學習할 수 있는 神經回路網의 特徵을 모두 가진 퍼지 神經回路網(Fuzzy Neural Network; FNN)³⁾을 이용하여 船長의 船舶 接岸 知識을 學習을 통하여 自動으로 制御規則으로 獲得하여 퍼지推論이 가능토록 하므로써 船舶이 目標

船席에 自動的으로 接離岸할 수 있도록 하는 퍼지 神經回路網 制御器(FNN Controller)의 構成을 제안함을 目標로 한다. 이 때, 學習 데이터로서 船長의 接離岸 知識은 노르웨이의 Norcontrol社에서 製作한 船舶操縱 시뮬레이터인 NAVSIM NMS-90 MK III을 利用하여 現實感있는 學習用 教師 데이터를 獲得한다.

한편, 自動 接離岸 制御器의 有效性을 檢定하기 위하여 船舶操縱 시뮬레이터의 모델船舶을 實船으로 보고 Personal Computer에서 구동될 수 있는 船體運動 모델을 構成하며, 각 테스트를 통하여 양 모델 船舶의 同質性을 檢定한다. 이 때 船體運動 모델은 船舶의 接離岸을 목적으로 하는만큼 出發, 停止, 後進, 加速, 減速 등을 포함하는 低速 航行時의 操縱運動을 표현할 수 있도록 한다.

提案된 接離岸 制御器의 有效性 檢定을 위하여 釜山 北港의 五六島 津門에서 子城臺埠頭까지를 航行區間 및 接岸停船區間으로 양분한 實驗設計 區間에서 低速時의 船體運動 모델을 이용하여 486급 PC에서 On-line으로 시뮬레이션시켜 船舶의 自動 航行 및 接岸 여부를 檢定한다.

또한, 接離岸 操船에 대한 安全性을 評價하기 위하여 各 評價項目에 관한 操船者의 主觀的 評價를 加급적 정량화시킬 수 있는 階層分析法(Analytic Hierarchy Process; AHP)⁴⁾를 이용하여 學習 데이터로 이용한 시나리오 A~C와 퍼지 神經回路網 制御方式에 의한 自動接岸 시나리오 D에 대하여 接岸 安全性의 定量的 評價尺度를 構成하고, 各 評價項目에 대한 總合的인 接離岸 安全性을 評價한다.

2. 低速時 船體運動 모델의 同定

2.1 低速時 船體運動 모델의 構成

自動 接離岸 制御器의 有效性을 檢定하기 위해서는 學習 데이터를 획득한 船舶操縱 시뮬레이터상에서 On-line 狀態로 自動 接離岸 制御器에 의한 接離岸 狀況을 同定(Identification)함이 가장 이상적일 것이다. 그러나 이 船舶操縱

시뮬레이터는 노르웨이의 Norcontrol社에서 제작된 것으로 시스템의 On-line 구동을 위한 데이터 통신 프로토콜(Data Communication Protocol)이 개방되어 있지 않은 관계로 自動 接離岸 制御器의 有效性 檢定을 위하여 船舶操縱 시뮬레이터의 모델 船舶을 實船으로 보고 486 Personal Computer에서 구동될 수 있는 船體運動 모델을 구성하여 모델 船舶의 同質性을 檢定한 後, 이를 이용한 接離岸 制御器의 有效性 檢定을 시행한다. 퍼지 神經回路網 制御器를 통한 船舶의 自動接離岸 시스템의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

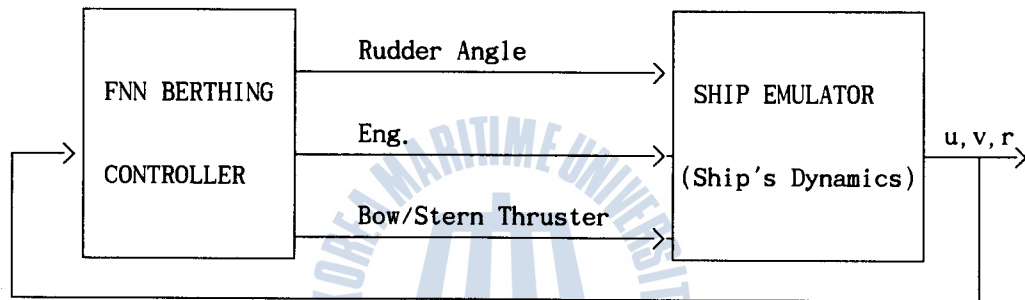


Fig. 1 Block Diagram of Berthing System

本 論文의 船體運動 모델은 船舶의 接離岸을 目的으로 하는만큼 出發, 停止, 後進, 加速, 減速 등을 포함하는 低速 航行時의 操縱運動을 표현할 수 있어야 하며, 이를 위하여 MMG 數學모델⁵⁾을 기준으로 하여, Fourier 級數展開에 의한 船體에 작용하는 流體力을 표현한 孫景浩의 수식모델⁶⁾을 이용하였고, 프로펠러 등에 작용하는 流體力은 芳村康男 등이 제안한 수식모델⁷⁾을 이용하였다.

2.2 船體運動 모델의 同質性 檢定

船舶操縱 시뮬레이터에서 學習데이터로 사용한 모델 船舶은 DMI의 241m급 컨테이너 船型⁸⁾이며, 모델선의 流體 動力學的 微係數 등의 데이터는 학습 데이터로 사용한 모델과 同一船型인 SR 108 컨테이너선⁹⁾에 대한 無次元化된 微係數를 이용하였다.

本 論文에서는 모델선의 同質性을 檢定하기 위하여 Fig. 2~7과 같은 테스트를 시행하였으며, 그 결과 兩 船舶이 동일한 船體運動 特性을 가지고 있음을 보여주고 있다.

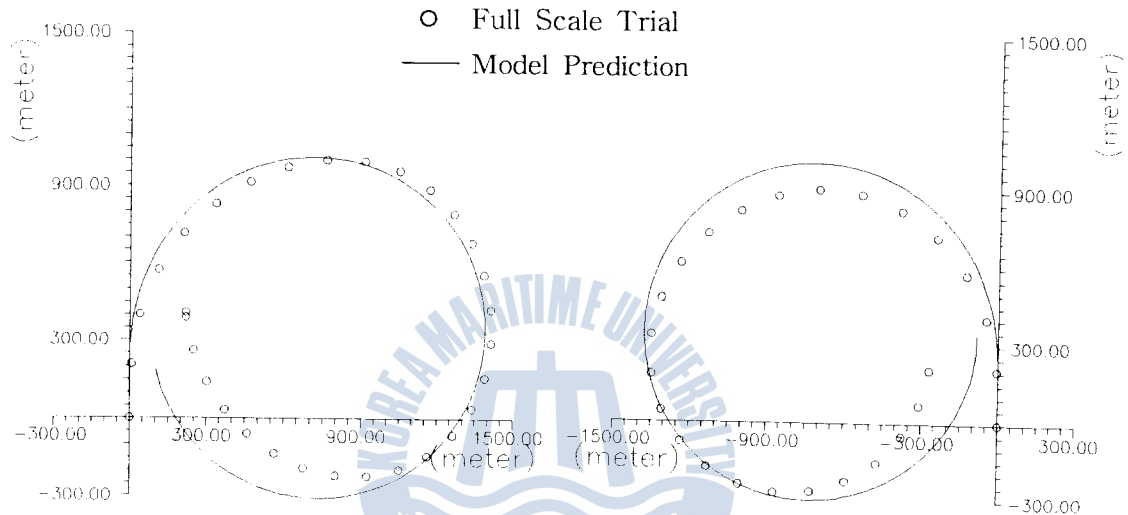


Fig. 2 35° Stb'd Turning Circle Test Fig. 3 35° Port Turning Circle Test

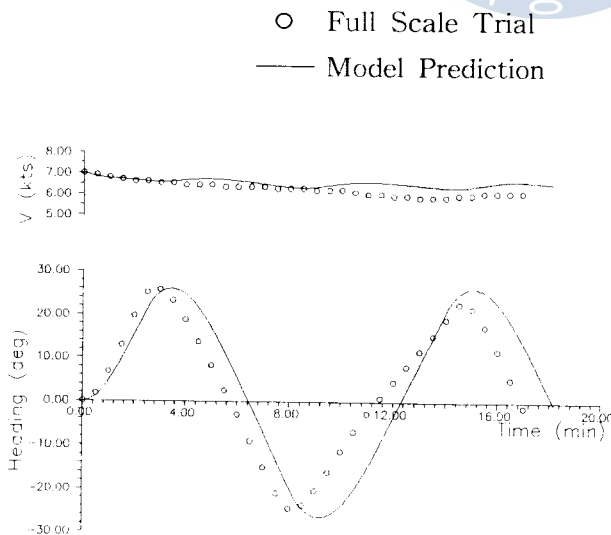


Fig. 4 20° - 20° Zig-Zag Test

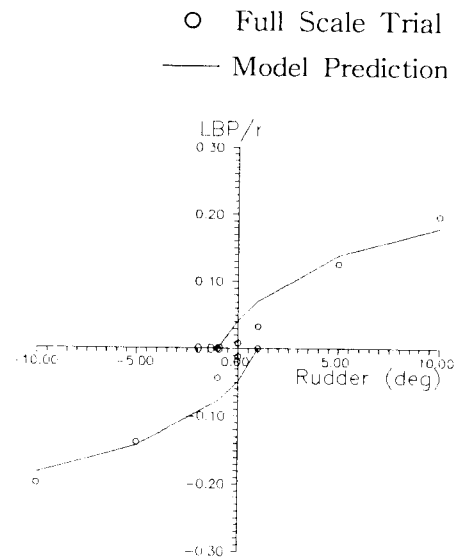


Fig. 5 Spiral Test

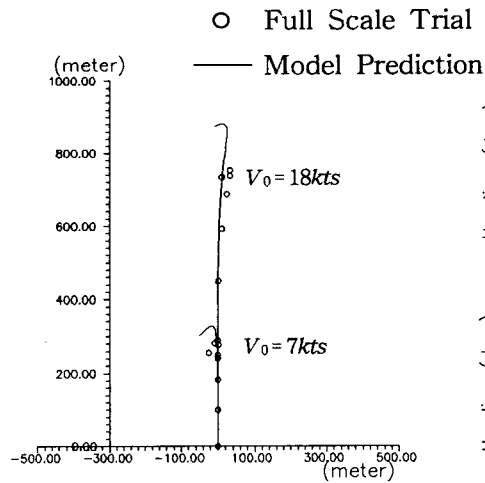


Fig. 6 Stop & Backing Test

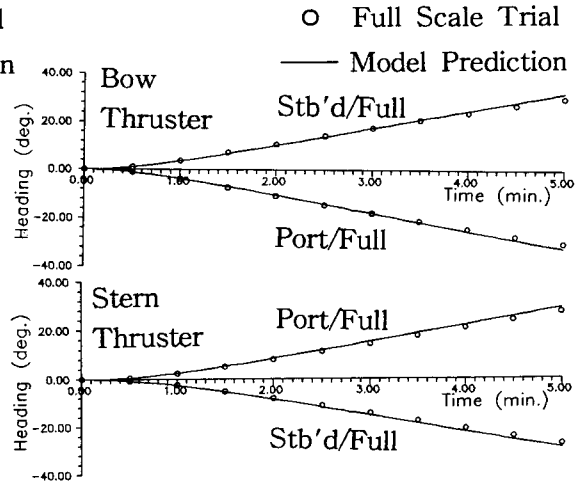


Fig. 7 Thruster Hydrodynamic Force Test

3. 船舶 接離岸시스템의 퍼지 學習制御

3.1 船舶 接離岸시스템과 퍼지 神經回路網

船舶의 接離岸制御는 두가지의 制御段階로 나누어 생각할 수 있다. 즉, 狹水路에서부터 目標船席 前方의 操縱水域(Manoeuvring Area)까지의 航行 制御(Navigation Control)와 操縱水域에서 目標船席 前方 1~2B 지점에 停船하기 까지의 接岸 制御(Berthing Control)이다. 즉, 前者는 Tracking 問題이고, 後者는 Regulator 問題이므로 제안하는 接離岸 制御系는 Dual mode 制御系로 된다. 接離岸 制御 시스템은 Fig. 8과 같이

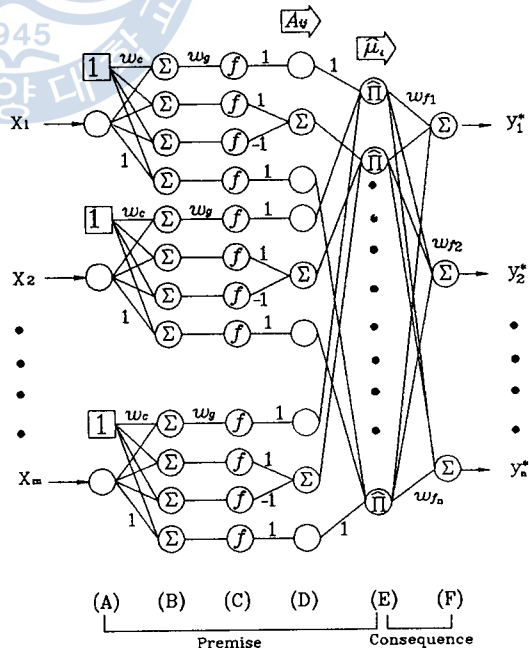


Fig. 8 Fuzzy Controller using Neural Network

퍼지 rule의 後件部가 定數로 표시되는 簡略化 퍼지 推論을 Back-Propagation 모델로 실현하는 神經回路網을 이용하였다.

3.2 航行 制御

航行 制御器는 水路에 있어서의 船舶操縱中 특히 제한된 航路幅에서의 位置 制御 및 新針路距離를 고려한 變針制御를 目的으로 入出力 所屬函數를 Fig. 9와 같이 고려하였고, 이 때 前件部 所屬函數는 各各 5개씩으로 構成하였다.

3.3 接岸 制御

接岸 制御는 操縱水域에 있어서 目標船席까지의 船舶操縱으로 船席前面의 船幅(B) 1~2B 거리에 船席과 平行하게 停船시키기 위하여 舵角 및 船速의 변화와 함께 필요시 船首尾 Thruster도 사용한다. 따라서, 入出力 所屬函數를 Fig. 10과 같이 고려하였고, 이 때 前件部 所屬函數는 各各 3개씩으로 構成하였다.

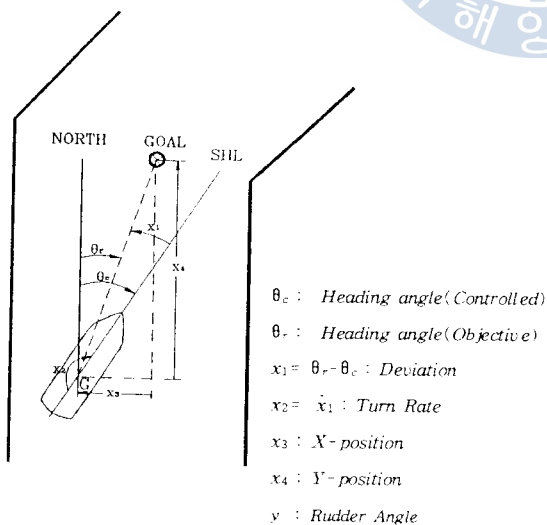


Fig. 9 Navigation Control Variables

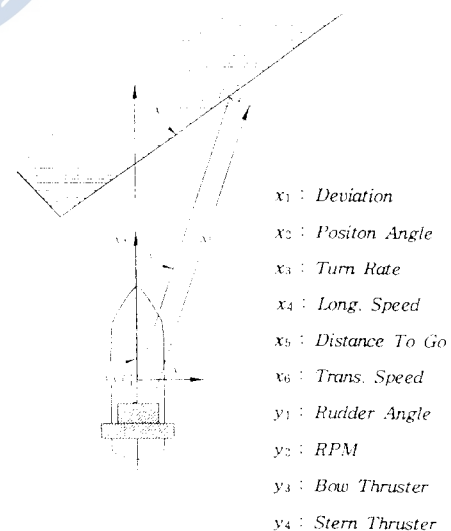


Fig. 10 Berthing Control Variables

4. 船舶 接離岸시스템의 有效性 檢定

4.1 船體運動 모델을 이용한 船舶 接離岸시스템의 有效性 檢定

4.1.1 航行 制御器의 有效性 檢定

FNN 航行 制御器의 有效性을 檢定하기 위하여 앞서 구성된 船體運動 모델을 이용하여 實驗設計 시나리오 區間에서 航行 制御器의 구동을 On-line으로 시뮬레이션하였다.

實驗設計 시나리오 區間은 釜山 北港으로서 初期位置는 五六島 燈臺로부터 方位 147° , 距離 2.1마일에서 針路 327° , 速力 12노트로 航進하여 五六島 前方 1.5마일에서 朝島 防波堤 綠色燈臺側으로 針路 287° 로 變針後, 朝島 防波堤로부터 0.38마일 前方에서 釜山 北港 第1航路 針路인 307° 로 變針하여 內港 防波堤 통과시 實驗設計 시나리오가 끝나는 것으로 하였으며, 이 때 船速은 航行 制御를 목적으로 하는만큼 일정한 것으로 하였다.

시뮬레이션 결과 Fig. 11과 같이 350m 폭의 釜山港 入港 航路에서의 自動 航行이 가능하였고, 특히 40° 와 20° 의 變針區間에서 양호한 상태의 自動 變針이 수행되었다.

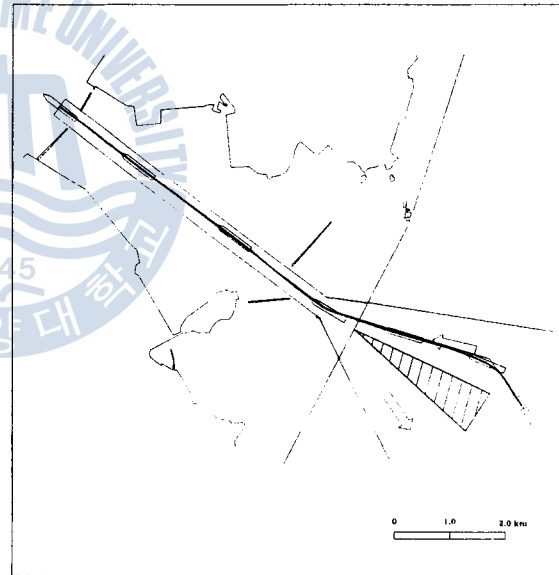


Fig. 11 Ship Trajectories of the FNN Navigation Controller

4.1.2 接岸 制御器의 有效性 檢定

神經回路網을 이용한 接岸 制御器(FNN Berthing Controller)의 有效性을 檢定하기 위하여 第2章에서 구성된 船體運動 모델을 이용하여 學習 데이터를 확보한 實驗設計 시나리오 구간과 동일한 구간에서 接岸 制御器의 구동을 시

물레이션하였다.

즉, 實驗設計 시나리오 구간은 釜山 北港의 內港防波堤 入口를 初期位置로 針路 307°, 速力 7노트의 初期條件 狀態에서 航進하여 子城臺埠頭 #53船席에 左舷接岸하는 것으로 하였으며, 이 때 水深은 14.5m의 釜山 北港의 水深을 가지는 것으로 하였다.

시물레이션 결과 양호한 상태의 自動 接岸이 가능하였고, Fig. 12는 學習 데이터로 이용한 3개 시나리오의 接岸과 FNN 接岸 制御器의 自動 接岸을 비교하여 나타내고 있다.

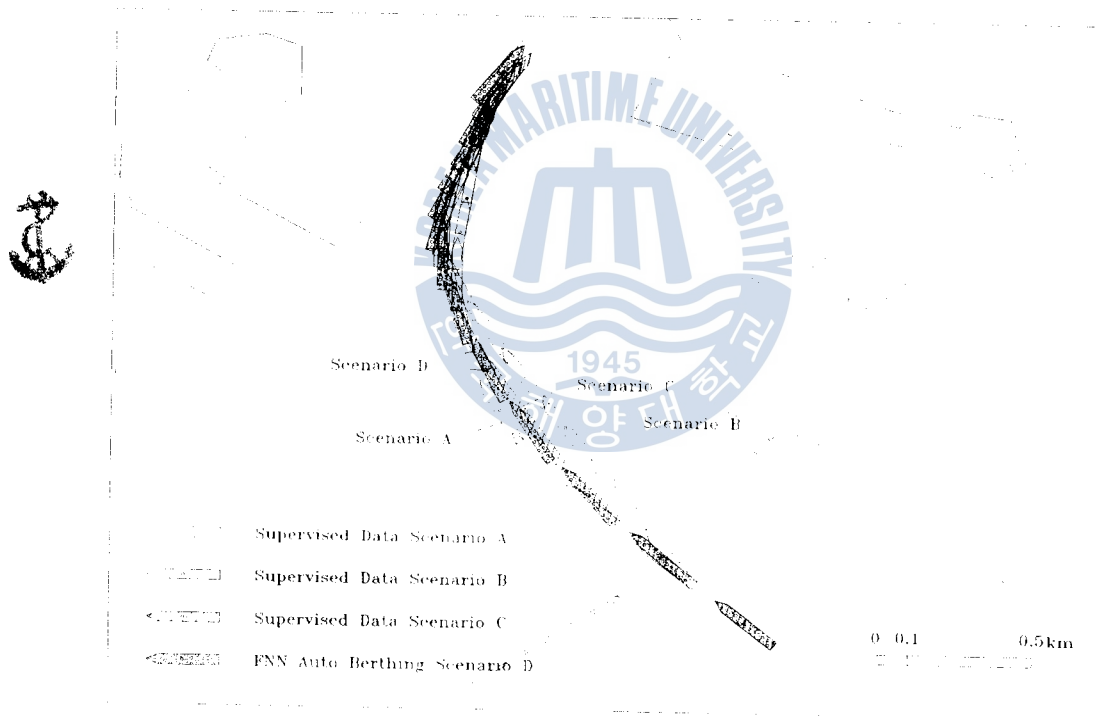
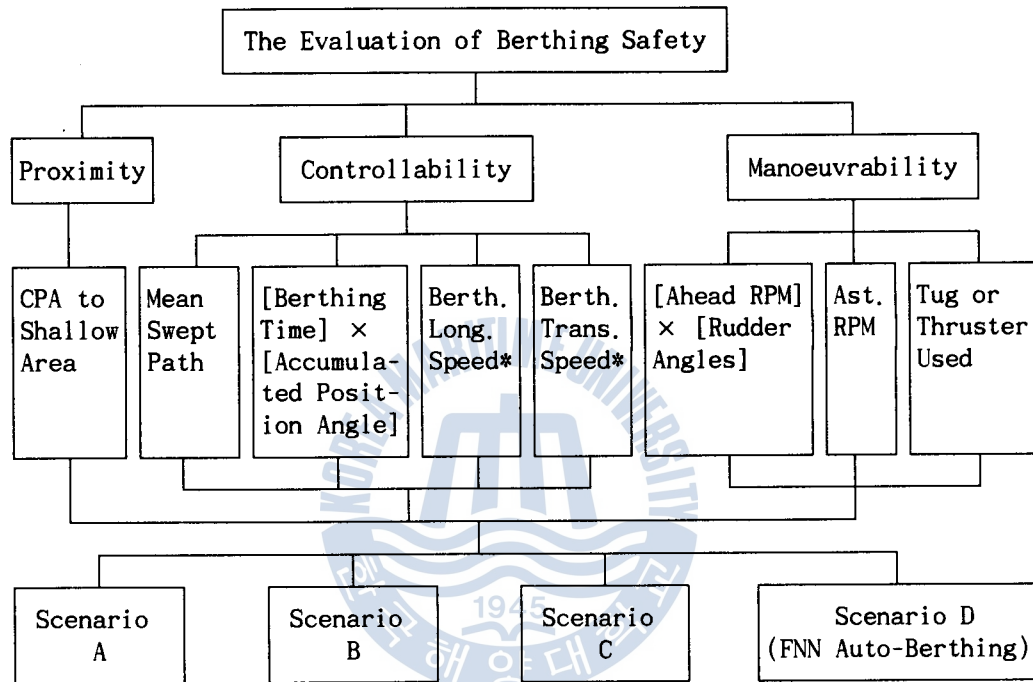


Fig. 12 Ship Trajectories of the FNN Berthing Controller

4.2 階層分析法을 이용한 船舶 接離岸시스템의 接岸 安全性 評價

4.2.1 階層分析法을 이용한 接岸 安全性 評價모델의 構成



(Note) * mark indicates the evaluating factors are not applied to unberthing case.

Fig. 13 Hierarchical Evaluation Structure of Berthing Safety

4.2.2 接岸 安全性 評價모델의 評價 結果

評價項目의 相對比較 評價値와 評價項目 相互間의 評價値를 종합하여 시나리오별 總合 評價値를 구하면 Table 1과 같다. 즉, 시나리오 A는 0.264, 시나리오 B는 0.342, 시나리오 C는 0.174가 얻어지며, FNN 自動 接岸의 시나리오 D는 0.220이 획득되므로서 AHP에 의한 接岸 安全性 評價 順位는 시나리오 B > 시나리오 A > 시나리오 D > 시나리오 C의 順位로 나타났다. 즉, FNN 自動 接岸은 學習 데이터중의 最適 시나리오를 추종하는 것이 아닌 대개 平均的인 값에 추종되며, 따라서 自動 接岸 學習 데이터는 우수한 船舶操縱 시뮬레이션 結果의 教師 데이터를 이용함이 바람직할 것이다.

한편, 學習 데이터 A~C와 FNN 自動 接岸의 시나리오 D는 스윕트 패스 평가항목에서 兩 運動모델의 차이에 따르는 誤差가 상대적으로 介入되었음을 확인하였고, 따라서 스윕트 패스를 本 論文의 接岸 安全性 評價項目에서 제외하기 위하여 동일한 評價値를 부여하여 시나리오별 總合 評價値를 구하면 接岸 安全性에 대한 약간의 順位變動이 나타난다. 즉, 시나리오 A는 0.213, 시나리오 B는 0.335, 시나리오 C는 0.192가 얻어지며, FNN 自動 接岸의 시나리오 D는 0.260이 획득되므로서 AHP에 의한 接岸 安全性 評價 順位는 시나리오 B>시나리오 D>시나리오 A>시나리오 C의 順位로 나타났다. 즉, 스윕트 패스를 評價項目으로 포함한 조건과 비교하면 시나리오 A와 D의 順位가 逆轉된 것이다. 결국 FNN 自動 接岸은 學習 데이터들중의 最適의 시나리오를 추종하는 것은 아니지만 대체로 우수한 學習 데이터에 가깝게 學習되어 制御되었음을 나타내고 있다.

Table 1 Ranking of Berthing Safety based on AHP

Item	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]	[g]	[h]	Total Score	AHP Ranking
	0.392	0.228	0.056	0.019	0.019	0.115	0.056	0.115		
Scenario A	0.092	0.473	0.143	0.312	0.189	0.664	0.211	0.122	0.264	②
Scenario B	0.582	0.284	0.143	0.064	0.189	0.049	0.087	0.227	0.342	①
Scenario C	0.163	0.170	0.143	0.312	0.516	0.074	0.231	0.227	0.174	④
Scenario D	0.163	0.073	0.571	0.312	0.106	0.213	0.471	0.424	0.220	③

(Note) [a]: CPA to Shallow Area, [b]: Mean Swept Path,
 [c]: The Product Berthing Times by Accumulated Position Angles,
 [d]: Berthing Long. Speed, [e]: Berthing Trans. Speed,
 [f]: The Product Ahead RPM by Rudder Angle Used,
 [g]: Weight of Astern RPM, [h]: Tug or Thruster Used

5. 結 論

本 論文은 퍼지 神經回路網(FNN)을 이용한 船舶의 自動接岸 制御器를 구성할 目的으로 우선, 學習 데이터를 획득한 船舶操縱 시뮬레이터의 모델船舶과 동일한 船體運動을 하는 船體運動 모델을 구성하여 同質性 檢定을 거쳐 486급

Personal Computer에서 구동시키므로서 自動接岸 制御器의 有效性 檢定을 On-line 조건으로 시뮬레이션할 수 있게 하였다.

接離岸制御 시스템은 航行 制御와 接岸 制御의 Dual mode 制御系로 그 構成을 提案하였고, 먼저 일반 水路에서 變針制御 등에 범용적으로 사용될 수 있는 航行 制御에 대한 FNN 制御器의 構成 方案을 提案하였다. 특히 이 FNN 自動航行 制御器에는 제한된 航路幅에서의 位置制御 및 新針路距離를 고려한 變針制御 概念을 포함하여 구성하였고, 그 有效性을 釜山 北港 入港航路의 實驗設計 시나리오 區間에서 船體運動 모델을 이용하여 486급 PC에서 On-line 시뮬레이션시켜 본 결과 釜山 北港의 內港 防波堤까지 양호한 상태로 自動入港이 가능하였고, 특히 變針過程에서 그 追從性이 탁월하였다.

또한 接岸 制御에 대한 FNN 制御器의 構成 方案을 提案하였고, 이의 적용을 위하여 船舶操縱 시뮬레이터를 이용하여 釜山 北港의 子城臺埠頭를 데이터 베이스화시켜 모델 船舶을 左舷接岸하는 船舶操縱 시뮬레이션에 의하여 船體運動 特性이 분명한 學習 데이터를 획득하였다. 따라서 FNN을 이용하여 이들의 學習을 통한 最適의 入出力 所屬函數를 동정하였고, 그 制御規則을 自動獲得할 수 있었다. 이 FNN 自動接岸 制御器의 有效性을 검증하기 위하여 學習 데이터를 획득한 지역과 동일한 子城臺埠頭 前面의 實驗設計 시나리오 區間에서 低速時의 船體運動 모델을 이용하여 486급 PC에서 On-line 시뮬레이션시켜 본 결과 아주 양호한 상태의 自動 接岸이 가능하였다.

操縱水域에서의 船舶 接離岸의 安全性 評價를 目的으로 階層分析法을 이용한 評價項目을 결정하여 總合的인 接岸 安全性을 評價한 결과 FNN 自動接岸은 3개의 學習用 시나리오와 비교하면 最適의 시나리오를 追從하는 것은 아니지만 대개 우수한 學習 데이터를 추종하는 결과를 나타내었다.

우리나라에서도 1980年代 후반부터 港灣을 새로이 開發할 때에는 그 設計用役의 일환으로 新設港灣의 航路나 船席配置에 대한 船舶操縱 시뮬레이션을 시행하여 船舶의 安全運航을 도모하고 있다. 따라서, 本 論文의 研究結果, 港灣을 新設하는 경우에는 그 設計用役의 하나인 特定船席에 대한 船舶操縱 시뮬레이션을 시행할 때 操縱 入出力 結果 데이터를 接岸 制御의 FNN으로 學習시켜, 初期에는 船長이나 導船士에 대하여 船舶 操縱 情報를 제공할 수 있는 海事安全情報(Maritime Safety Information; MSI) 裝備로 이용 가능하며, 發展的으로는 船舶의 완전한 自動 接離岸 制御器로의 이용이 기대된다.

앞으로 바람, 潮流 등의 外力環境과 曳船의 使用 등이 포함된 조건에서의 船體運動 制御에 FNN을 적용시켜 制御器를 구성하는 方案의 追加研究가 필요하며, 다량의 學習 데이터를 확보해야 하는 문제에 관해서는 基本的인 制御規則은 FNN을 이용하여 自動 生成시키고 나머지는 人間的 經驗을 言語指示 (Linguistic Instruction)¹⁰⁾ 등에 근거하여 學習시키는 方案 등이 고려될 수 있고, 이에 대한 보다 구체적인 研究가 필요할 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- 1) 이만호 外, “뉴로-퍼지 시스템 근사화”, 1993년도 춘계학술회의 학술발표 논문집, 제3권, 제1호, pp.187~196, 한국퍼지시스템학회, 1993.
- 2) Rumelhart D.E., McClelland J.L. and the PDP Research Group, “Parallel Distributed Processing”, The MIT Press, 1986.
- 3)堀川 外, “ファジィニューラルネットワークの構成法と學習法”, 日本ファジィ學會誌, Vol.4, No.5, pp.906~928, 1992.
- 4) Saaty T.L. · Kearns K.P., “Analytical Planning”, Pergamon Press, 1985.
- 5) 小川陽弘 外, “MMG報告 - I,II,III,IV,V”, 日本造船學會誌, 第575, 577, 578, 579, 616號, 1977~1980.
- 6) 孫景浩, “저속시 선체에 작용하는 조종유체력 및 조종성능에 관한 연구”, 韓國航海學會誌, 第15卷, 第4號, 1991.
- 7) 芳村康男 · 野本謙作, “増減速を伴う操縱運動の取扱いについて”, 日本造船學會論文集, 第144號, 1986.
- 8) Ole Tersløv · Niels Arndal, “DMI 89128 Report No. 9 Ship 1224, 241M Container Vessel, Loaded Condition, Mathematical Simulator Model”, Danish Maritime Institute, 1992.
- 9) 孫景浩 外, “高速コンテナ船の操縱運動と横揺れとの連成運動について”, 日本造船學會論文集, 第150號, 1981.
- 10) 朴桂珏, “ファジィ理論を用いた言語指示の解釋による學習”, 日本東京工業大學 總合理工學研究科 システム科學專攻, 博士學位論文, 1993.

