

진화 에이전트와 게임이론 기반

국제무역현상 모델링

이승현^o 조성배

연세대학교 컴퓨터과학과

e2sh83@sclab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

Modeling International Trade based on Evolutionary Multi-Agent with Game Theoretic Approach

Seung-Hyun Lee^o Sung-Bae Cho

Dept. of Computer Science, Yonsei University

요약

최근 세계화의 흐름 속에 경제영역에서 더 높은 수준의 국가간 협력과 공조를 필요로 하는 실정이다. 하지만 복잡한 이해관계 속에서 적절한 무역 전략을 취하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 무역정책의 방향을 수립함에 참고하기 위한 방법으로, 국제 무역의 주체가 되는 국가를 진화 에이전트로 구성하고 이차원 공간상에 배치시켜 국제무역현상을 모델링 하였다. 국가 에이전트는 다양한 속성을 기반으로 구성되며, 진화 연산을 적용하여 무역 전략을 국제무역정세에 따라 동적으로 변화하도록 하였다. 국제무역에서 중요한 요인인 국가협력관계와 상대적 무역정책에서 파생되는 무역이익은 게임이론을 적용하여 모델링하였다. 다수의 실험을 통하여 본 모델링 방법이 실제 무역 현상을 재현함을 확인하였으며, 특히 상대 국가별 발전 정도에 따라 정책을 변화시키는 것이 자국의 이익을 추구에 중요한 요소임을 확인하였다.

1. 서론

무역시장에서 국가간 협력 관계는 무역의 성패를 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 한 국가는 다수의 국가와 무역을 하며, 국가별로 다른 전략을 활용하여 자국의 이익을 최대화 하고자 한다. 국가별로 최적의 무역 전략은 상황이나 무역 상대국의 대응에 따라 다를 수 있으며, 복잡한 이해관계 속에서 전략을 찾는 것은 쉬운 일이 아니다. 최근 세계화의 흐름속에 무역 현상을 이해하기 위해 통계적, 실험적 분석에 대한 연구가 진행되었다.

본 논문에서는 무역의 주체가 되는 각 국가를 다수의 에이전트로 구성하고 이들 간의 상호작용을 정의하여 국제 무역 시장을 모델링 하였다. 국가는 이차원의 공간에 배치되며, 각각 고유의 상태, 속성, 무역 전략을 가진다. 무역 전략은 크게 자유무역과 보호무역으로 대표되며, 각국은 상황에 따라 상대국에 대한 관세율을 변경한다. 무역 전략은 진화연산을 통해 분기별로 갱신되며, 무역 효율성이 좋은 국가들의 전략을 수정, 채택하게 된다.

국가간 관계와 상호협력에 따른 무역이익을 정의하기 위해 게임 이론을 적용하였다. 게임 이론은 다수 에이전트 환경의 공진화(Co-evolution)를 통한 전략 학습에 주로 사용되는 것으로 사회, 경제 현상을 모델링할 때 자주 활용된다. 본 논문에서는 자국의 발전 정도와 무역 상대국의 발전 정도, 각각의 전략에 따라 단위 무역 이익이 발생하게 하였다. 무역 시장의 확대와 자유무역 체

계를 확률적으로 모델링하여 세계 무역시장의 점진적인 발달 양상을 확인 하였다. 마지막으로 다양한 실험을 통해 국제무역 시장 발달에 영향을 주는 요인들과 무역전략의 진화 양상을 분석 하였다.

2. 배경 및 관련연구

다양한 현상에 대한 컴퓨터기반 시뮬레이션 연구가 많이 수행되고 있으며, 특히 멀티 에이전트 기반의 진화 연산을 이용한 접근법이 주로 적용되고 있다.

R. Gras 등은 진화 기법을 통해 생태계 현상을 시뮬레이션 하였다. 초식자와 포식자의 상태, 환경의 구성 등을 퍼지기법을 이용하여 정의하고, 그에 따른 행동 전략을 진화시킴으로써 실세계의 먹이사슬 현상을 재현하였다 [1].

M. Maniadakis 등은 인간 두뇌의 작용을 모사하였다. 두뇌의 각 영역을 에이전트로 구성하고, 이들의 계층적 관계와 협력 양상을 공진화하는 방식을 취하였다. 진화한 뇌의 기능을 로봇에 이식하여 유용성을 보여주었다 [2].

자연, 인간의 현상 뿐만 아니라 진화 에이전트 기법은 주식거래, 전기 시장 모델링 등 사회 경제적 현상의 시뮬레이션 분야에도 많이 적용된다. 그 중 진화 에이전트 간의 관계를 게임이론을 적용시킨 연구가 많이 진행되었다.

표 1. 에이전트기반 시물레이션 및 국제무역현상 실험적 분석 기존 연구

저자	내용
L.Tesfatsion (2002)	에이전트 기반 진화 경제학에 파라다임 제시. 경제 주체간 네트워크 구성, 조직 모델링 등[5]
C.Schoreels et al.(2004)	멀티 에이전트 기반 주식시장 트레이딩 시물레이션 [6]
G.Grozev etal. (2005)	호주의 전기 시장 시물레이션. 사람, 설비, 환경을 에이전트로 각각 모델링[7]
R. Reynolds (2005)	고대 아나사지족(Anasazi)이 사라진 이유를 밝히기 위해 현상 모델링[8]
H. Quek et al. (2008)	인간의 미시적 행동의 전략적 진화를 통한 집단적 폭력성 발현[3]
R.Grasetal. (2009)	포식자와 피식자의 상태, 환경을 퍼지로 구분. 전략의 진화를 통한 먹이사슬 모델링[1]
M.Maniadakis et al.(2009)	두뇌의 각 영역을 에이전트 형태로 설계, 계층적 공간화 통한 인간 두뇌작용 모델링[2]
H. Kim et al. (2009)	게임이론과 진화 에이전트 기반 노사관계 및 노동시장 발전양상 시물레이션[4]
S.Baier et al. (2004)	무역 협정의 주요 결정자들에 대한 무역데이터 기반 실험적 분석 [9]
M.Lawless et al.(2007)	그레비티 함수에 근거한 운송비용과 거리 등 무역의 네가티브적 요소에 대한 분석[10]
D.I.Claudia (2008)	국제 무역의 평형상태, 자유무역, 무역 정책의 게임이론 기반 분석[11]

H. Quek 등은 인간의 집단적 폭력성을 진화 에이전트를 이용하여 구현하였다. 인간 폭력성의 미시적 행동 양상을 에이전트로 구성하고, 경찰 에이전트와의 관계를 게임이론을 통해 정의하여, 집단적 폭력성이 발현되는 것을 확인하였다[3].

H. Kim 등은 진화기법을 이용하여 노동시장을 재현하고자 하였다. 노동시장의 주체인 노동자와 회사의 관계를 선물교환게임 이론을 도입하여 모델링하고, 두 개체 전략의 협력 정도에 따라 임금과 생산성이 결정되게 하였다. 노동자의 경험, 인구수 증가등의 요소의 변화에 따른 노동시장의 동적인 변화를 관찰하였다[4].

표 1은 에이전트기반 현상 모델링 및 국제 무역현상을 실험적, 통계적으로 분석한 기존 연구를 보여준다.

3. 국제 무역시장 모델링

제안하는 국제 무역시장 모델은 다수의 국가 에이전트로 구성된다. 국가는 2차원의 가상 세계 공간에 배치되며 초기에는 국가간 무역이 전혀 없는 상태로 설정된다. 국가는 자국의 이익과 필요에 따라 무역 상대국을 점차 늘려가고, 수립한 무역 전략을 바탕으로 상대국과 교역을 수행한다.

무역을 통한 이익은 양 국가의 발전상태(GDP)와 무역 전략에 따라 결정된다. 무역 이익은 자국보다 GDP가 큰

국가, 비슷한 규모의 국가, 작은 국가의 경우에 대해 각각의 이득표 형태로 구성되며, 이는 모든 국가의 단위 무역이익을 구할 때 일률적으로 적용된다. 단위 무역이익은 교역량과 비용에 따라 총 무역 수지를 결정하게 되고, 무역 수지는 GDP의 성장에 반영된다.

각 국가 에이전트의 무역 전략은 상대국가의 이전 무역 전략과 유전자 형태로 표현되는 자국의 무역 전략에 따라 결정된다. 무역 전략은 단위 무역이익을 결정하는 요인으로, 매 분기별 무역 수지 결과에 따라 동적으로 변화한다. 각 국가는 무역시장에서 더 효율적인 전략을 채택하기위해, 효율성이 좋은 국가의 전략 유전자를 선택하고, 교차와 돌연변이의 일반적인 진화연산의 과정을 거친다.

무역전략의 적합성(fitness)은 각국의 무역 국가수와 교역량이 다른 것을 감안하여 평균 단위 무역이익으로 계산한다. 초기에 생성된 국가는 새로 생기거나 없어지지 않는 것을 가정한다. 다만 초기 설정된 GDP 이하로 진입하는 국가는 지불불능 상태로 되며, 일정 기간 무역 시장에서 배제된 후 새롭게 생성된 무역전략으로 다시 참여하게 된다.

3.1 무역이익 모델링

국제 무역의 득실에 있어 국가의 무역정책은 매우 중요한 요소이다. 국가별 무역 정책은 보호무역과 자유무역으로 나눌 수 있으며 무역양국이 취하는 정책에 따라 얻을 수 있는 이익은 크게 달라진다. 두 국가 모두 자유무역을 하는 경우, 전체적 이익은 최대가 된다. 반면, 두 국가 모두 보호무역 정책을 적용하는 경우, 무역을 통한 이익은 매우 작게 되고, 일정 수준 이상의 관세율이 되면 무역의 효과가 없어지게 된다. 양국이 각각 자유무역과 보호무역을 하는 경우, 보호무역 정책을 선택한 국가의 이득은 최대가 되며, 다른 국가는 손해를 보게 된다. 결론적으로 양국의 내쉬 균형(Nash's equilibrium) 상태는 <보호무역, 보호무역>가 된다.

경제규모의 차이 또한 무역을 통한 이익을 변화시킬 수 있다. 밀의 역설(Mill's Paradox)에 따르면 경제규모가 큰 대국과 경제규모가 작은 소국이 자유무역을 한 경

표 2. 국제무역 단위 이득표

(국가 A, 국가 B)		국가 B	
		보호무역	자유무역
국가 A	보호무역	4, 4	15, -2
	자유무역	-2, 15	10, 10

(a)

(국가 A, 국가 B)		국가 B	
		보호무역	자유무역
국가 A	보호무역	4, 4	15, -2
	자유무역	-2, 15	12, 8

(b)

우, 소국의 이익이 대국의 이익보다 항상 크게 된다[12].

무역이익에 영향을 주는 정책과 경제규모를 반영하여 이익표를 표 2와 같이 정의하였다. 2-(a)는 양국가의 경제규모가 비슷한 경우를 나타내며, 2-(b)는 경제규모가 차이가 나는 경우(국가 A보다 B의 발전정도가 높은 경우) 단위 무역당 최대 이익을 나타낸다. 양국 모두 자유무역 정책의 경우 모두 보호무역인 경우보다 이익이 크며, 자국의 무역은 보호하고 상대국은 자유롭게 무역하는 경우 자국의 이익을 최대할 수 있다. 마지막으로 모두 자유무역인 경우 (b)는 (a)에 비해 경제 소국의 이익은 증가, 경제 대국의 이익은 감소를 반영한다.

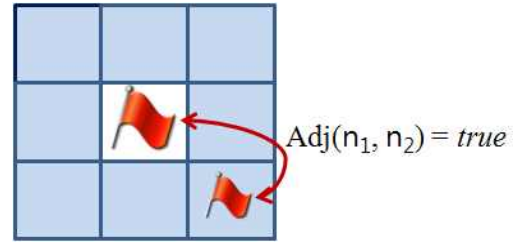


그림 1. 인접국가 및 연결성 정의

$$Adj(n_1, n_2) = \{x | x \in true, false\}$$

다른 국가와 동일하지 않다. 무역의 확장, 무역 상대국의 수, 국가별 관세율 등 환경과 정세에 따라 고유의 무역특성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서 각 국가 에이전트는 무역 상대국과 자율적으로 필요에 따라 확장해 나간다. 무역 협상 및 체결은 무역 양국의 현재 상태에 따라 확률적으로 조정되며, 국가별 무역상대국의 수는 다음과 같이 정의된다.

$$N_{trade}(n) = \sum Partner(n, \bar{n}) \equiv true$$

Partner()는 무역 상대국 여부를 나타낸다,

각 국가의 상태 $Stat(n) = \{x | x \in Safe, Moratorium\}$ 는 GDP 값에 따라 변화한다. 무역정책의 실패로 GDP 감소가 연속적으로 이루어지거나 특정값 이하로 내려간 경우 지급불능 상태로 설정된다. 다음 표 3은 국가가 가지는 주요 속성 값들을 보여준다.

표 3. 국가 에이전트의 주요 속성

속성	Description
$Payoff_{total}(n,t)$	무역 게임 페이오프의 총합
$Revenue_{total}(n,t)$	무역 수지의 총합
$AVG_{payoff}(n,t)$	단위 무역 상대국 기반 평균 페이오프
$AVG_{revenue}(n,t)$	단위 무역 상대국 기반 평균 무역수지
$Growth_{payoff}(n,t)$	페이오프기반 성장률
$Growth_{revenue}(n,t)$	무역수지기반 성장률
$Tariff(n_1, n_2)$	각국에 대한 관세율
$Ag_{strategy}$	24비트 길이의 각국의 전략
$Class(n)$	국가의 발전 정도
$GDP(n)$	국가의 발전 정도를 수치화한 지표

3.3 국가간 무역 프로토콜

무역은 크게 세 단계를 거쳐 수행된다. 첫 번째 단계에서는 전 세계 국가들에 대한 무역 우선순위를 계산하여 정보를 수집한다. 국가별 무역 우선순위는 무역을 수행하였을 경우의 파급효과, 즉 예측 무역량을 기반으로 계산된다. 무역량은 고전적인 그래비티 방정식(Gravity Equation)을 활용하여 계산된다[10].

3.2 국가 에이전트 모델링

국제무역의 주체인 국가를 정확히 모델링 하는 것은 실제현상을 시뮬레이션 하는데 있어 매우 중요한 일이다 [3]. 본 절에서는 국가 에이전트의 주요 속성을 정의한다.

국제무역에 있어 국가의 발전정도는 중요한 역할을 하며 이는 국내총생산(GDP)값에 의해 반영된다. 초기에 국가는 발전정도에 따라 선진국, 개발도상국, 후진국 중 하나의 지위를 가지게 된다.

$$Class(n) = \{x | x \in Developed, Developing, Undeveloped\}$$

국가의 초기 GDP값은 세 단계의 발전정도에 따라 달리 정의된 최대값과 최소값의 범위 내에서 랜덤하게 정의되며, 다음 분기(t+1)의 GDP값은 GDP공식의 일부를 반영하여 해당 분기(t)의 무역상대국과의 무역수지 값을 더하여 계산된다.

$$GDP(n) = U(Min_{class}, Max_{class})$$

$$GDP(n, t+1) = GDP(n, t) + \sum NetIncome(n, \bar{n}) \quad (n \neq \bar{n})$$

국가간 무역의 경우 국가의 지리적인 위치 및 국가간 거리[3, 11], 그리고 무역 구조는[5] 무역의 규모 및 활성화에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 지정학적 요소를 반영하기 위해 각 국가 에이전트를 2차원 격자 세계에 임의로 배치한다. 국가의 위치는 고정되어 움직이지 않으며, x, y 두 축의 좌표로 구성된다. 각 국가는 하나의 오토마타 셀을 차지하며 두 나라간의 거리는 다음 수식과 같이 계산된다.

$$Location(n) = (x, y)$$

$$Dist(n_1, n_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

그림 1과 같이 한 국가를 중심으로 8방향에 위치한 국가를 인접한 국가로 정의한다, 인접국가간에는 무역시 육로를 이용한 운송을 하며, 연결된 육로를 통한 무역시 단위 운송비가 절감 된다.

실제 국제 무역시장에서는 한 국가의 무역 형태가 모

$$V_{trade}(n_1, n_2) = \beta_0 + \beta_1(\ln(GDP(n_1)(GDP(n_2))) + \beta_2(\ln(Dist(n_1, n_2))) + \beta_3(ADJ(n_1, n_2)) + \beta_4(FTA(n_1, n_2))$$

$V_{trade}(n_1, n_2)$ 는 두 국가 n_1, n_2 간의 무역량을 나타내며, 각 국가의 GDP, 거리($Dist()$), 인접국가여부($ADJ()$), 등에 따라 결정되며, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 는 각각 해당 요소의 결정상수이다. 무역의 효율성은 GDP 변동 결과에 반영되기 때문에 시간에 따라 국가 n_1 에 대한 n_2 의 우선순위 $Priority(n_1, n_2)$ 는 동적으로 변화하게 된다.

두 번째 단계는 무역 상대국을 확장한다. 무역 우선순위의 결과에 따라 현재 교역을 하지 않는 국가에 대해 무역시작 협상을 제안한다. 무역 협상 제안을 받은 국가는 무역 제안국에 대한 우선순위를 기반으로 무역시작 여부를 결정한다. 무역 협상의 제안과 승낙은 각국이 계산한 상대국의 우선순위에 따라 확률적으로 수행되며 이는 다음 수식과 같다.

$$P_{suggest}(n_1, n_2) = 1 - \frac{Priority(n_1, n_2)}{N_{total}}$$

$$P_{accept}(n_2, n_1) = 1 - \frac{Priority(n_2, n_1)}{N_{total}}$$

$P_{suggest}(n_1, n_2)$ 는 국가 n_1 이 n_2 에 무역을 제안할 확률을 나타내며, $P_{accept}(n_2, n_1)$ 은 n_2 가 이를 승낙할 확률이다.

세 번째 단계는 현재 형성된 무역 상대국과 무역을 수행한다. 국가는 상대국에 대한 전략과 상대국의 대응에 따라 수익, 또는 손실을 본다. 상대국에 대한 무역 전략은 이전 분기에서의 상대국가의 무역전략 기록 $History()$ 와 현재 국가의 정책 $Policy()$ 에 따라 결정된다.

$$Strategy(n_1, n_2, t) = Decision(History(n_2, t-1), Policy(n_1, t))$$

상대국과의 무역시 얻을 수 있는 단위 무역이익 $Unit_{revenue}(n_1, n_2)$ 은 앞서 정의한 국제무역 이득표상의 두 국가의 상호 무역 정책에 따라 결정된다. 단위 무역이익은 관세율과 운송비가 공제되지 않은 값이다. 실제 무역을 통한 순이익 값, 단위 무역 순이익 $Net_{revenue}$ 은 단위무역 이익, 무역량, 관세율, 운송비에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$Net_{revenue}(n_1, n_2) = Unit_{revenue}(n_1, n_2) * (1 - tariff(n_2, n_1)) - Cost_{trans}(n_1, n_2)$$

4. 에이전트의 무역전략 진화

4.1 무역전략 표현 방법

무역 프로세스를 수행한 후, 효율성이 낮은 국가의 무

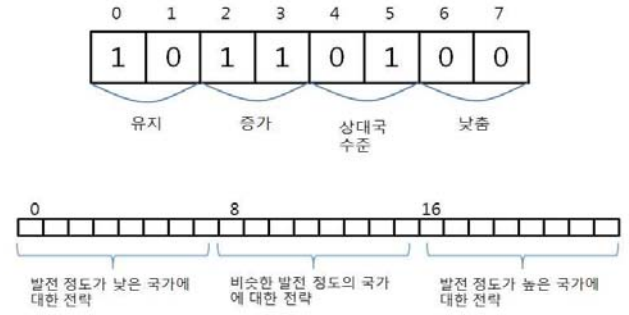


그림 2. 무역 전략 유전자 표현형

역전략은 무역전략의 진화를 통해 새로운 전략을 채택한다. 보호무역은 관세의 유지, 증가, 상대국과 동일 수준의 세 가지 형태로 발현될 수 있는 반면, 자유무역은 관세를 낮추는 기능을 한다. 무역관세는 점진적으로 철폐된다는 최근 무역협상의 특성을 반영하여[6], 전략의 선택에 따라 점차적으로 관세를 증가, 감소하도록 한다.

그림 2는 4가지 전략에 대한 유전자 표현형을 나타낸다. 무역 전략은 상대방이 직진 분기에 선택한 전략에 대응하여 각각 구성되며(8비트), 상대국가의 비교 발전 정도(낮음, 비슷, 높음)에 따라 다른 전략을 구성한다. 총 24비트 길이의 바이너리 형태로 전략 유전자가 구성되며, 초기에 임의로 형성된다. 상대국의 이전 무역 전략은 별도의 히스토리모듈에서 관리한다.

4.2 무역전략 진화

국가의 국제무역의 평가에 있어 가장 중요한 요소는 무역의 효율성이다. 효율성에 따라 좋은 전략은 국제무역시장에 많이 채택되고, 그렇지 않은 전략은 도태된다. 한 시점 t 에서의 국가의 무역전략 적합도(fitness)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Fit(n, t) = \frac{\sum_{n}^{N_{total}} Net_{revenue}}{N_{trade}(n)}$$

(단, $\bar{n} \in Partner(n, \bar{n}) = true$)

국가별로 무역국의 수와 무역량이 크게 차이가 있을 수 있기 때문에 단위 무역 순이익 값의 총합을 무역 상대국 수로 조정한다. 따라서 발전 정도가 낮거나 무역을 많이 하지 않는 국가의 무역 전략도 적합도가 높은 경우, 다른 국가의 전략으로 채택될 수 있다.

무역효율이 좋은 국가의 전략을 기반으로 새로운 전략을 생성하기 위해 룰렛휠 방법을 적용하였다. 한 국가의 전략이 부모 전략으로 선택될 확률 $P(n)$ 은 다음과 같이 계산한다.

두 개의 부모 전략을 선택한 다음 1점 교차연산(1-point crossover)을 통해 새로운 전략을 생성하며 일부 유전자

$$P(n) = \frac{AGV_{payoff}(n, t)}{\sum_{k=0}^{N_{nation}} AVG_{payoff}(k, t)}$$

의 변형(mutation)을 통해 부모와는 다른 전략적 특성을 생성한다. 새롭게 생성된 전략은 효율이 낮은 국가에 의해 확률적으로 채택된다.

5. 실험 및 분석

5.1 실험 설계

국제무역시장의 실험을 위해 설정한 파라미터는 표 4와 같다. 고정적인 국가의 수를 사용하였으며 각 국가의

표 4. 무역전략 진화를 위한 설정값

파라미터	값
초기 국가 수	80
2-D 세계 규모	20 x 10 squares
단위 관세율 변화량	0.01
전략 유전자 변이 확률	0.05
교차연산 방법	1-point
부모 전략 선택 방법	Roulette wheel with Elitism
진화 세대수	2000

초기 위치는 임의로 설정하여 배치하였다. 초기 국가의 발전정도는 확률적으로 결정하게 하였으며, 선진국, 개발도상국, 후진국을 각각 10%, 30%, 60%로 지정하였다. 각 국가는 무역협정을 맺은 상대국과 무역을 통해 GDP를 증가시키고, 무역 효율성이 낮은 국가들은 높은 국가들의 전략을 기반으로 크로스오버를 통해 새로운 전략을 생성하고 도입한다. 국가들의 기본 관세율 변화 단위는 1%로 하였으며, 최대 2000세대까지 진화하도록 하였다.

표 5. 무역상수 설정

Constant	β_0	β_1	β_2	β_3	α_0
Value	1.0	1.23	-2.2	1.0	0.005

표 5는 실험을 위해 설정한 상수들의 값을 보여준다. β_0 부터 β_3 는 무역량 계산을 위한 그래비티 함수를 구성하는 상수이며, α_0 는 자유무역협정의 확률을 조정하기 위한 상수이다. 그래비티 함수를 구성하는 상수들의 값은 실험적 분석에 따른 결과값을 사용하였다[10].

5.2 무역시장 적합도 값 변화

그림 3은 진화에 따른 무역수지의 적합도 값 변화의 추이를 보여준다. 가로축은 진화 세대수를 나타내며 세로축은 국가별 평균 단위 무역 이익의 총합을 나타낸다.

초기에는 맺어진 무역 협정의 수가 낮고 각 국가의 전

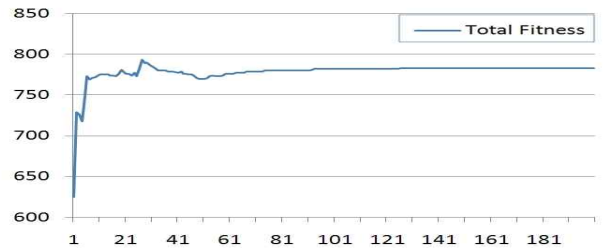


그림 3. 전체 무역 적합도 변화

략이 형성되지 않았기 때문에 평균 무역 수지값이 낮게 나타난다. 이후 분기가 지남에 따라 진화하는 전략에 따라 전반적으로 급격하게 늘어나며, 이후 100분기가 지나면서 안정화됨을 알 수 있다. 이는 무역 초기에 임의로 생성된 전략에 각국이 손해를 크게 보면서 빠르게 효율적인 새로운 전략을 도입했음을 나타낸다.

5.3 국제 무역의 발달 양상

그림 4는 진화 세대별 체결된 국가간 무역 현황을 나타낸다. 진화 초기에는 주로 가까운 거리의 국가간의 무역이 활성화 되는 지역적 발달 양상을 보여주었다. 뿐만 아니라 초기 무역은 발전 정도가 높은 국가를 위주로 형성되었다. 이는 무역 이익이 큰 국가를 위주로 무역 협상이 진행되었기 때문이다. 세대수가 지남에 따라 다른 지역과의 무역이 두드러지게 나타나기 시작하며, 마지막

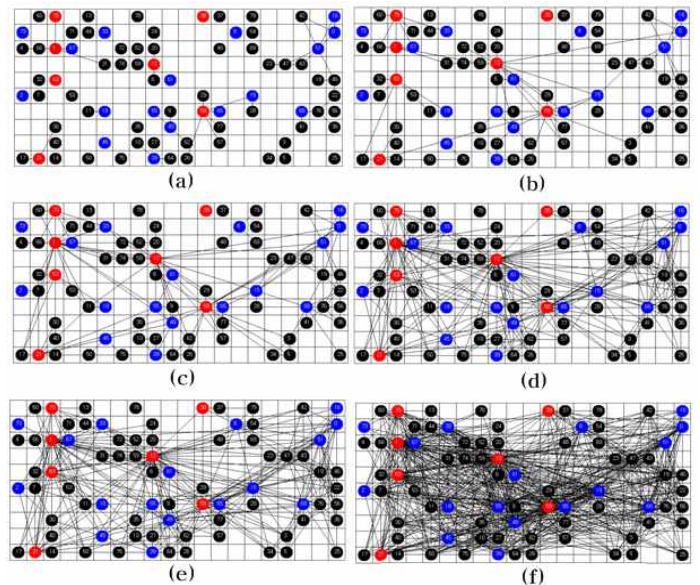


그림 4. 국가간 무역협정 발달 양상. 빨간원은 선진국을, 파란원과 검정원은 개발도상국과 후진국을 의미한다. (a), (b), (c), (d), (e), (f)는 각각 세대수가 10, 20, 30, 40, 50, 100 인 경우를 나타낸다. 이는 전체적으로 진행됨을 확인 할 수 있다. 이는 거리와 무역과의 반비례적인 관계를 가진다는 실험적인 분석과 일치하는 결과를 보인다[13, 14].

이와 같은 무역발달 양상은 그림 5에서도 드러난다.

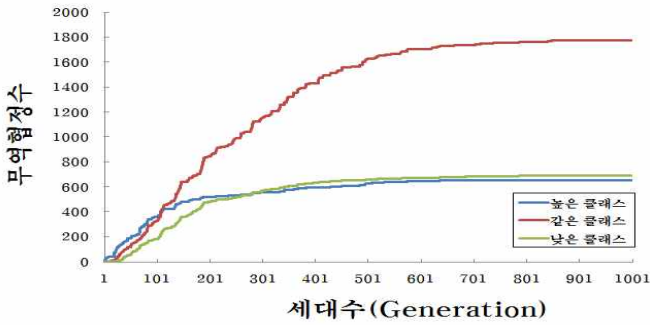


그림 5. 무역협정 수 변화

무역 초기에 각 국가는 보다 발전한 국가와 무역을 시작하고자 하는 반면, 발전 정도가 낮은 국가와의 무역시점은 천천히 추진함을 보였다. 이는 보다 이익이 큰 시장부터 무역을 확장하는 추세를 보여준다.

5.3 무역전략 진화

그림 6은 국가 발전 정도별 무역시 협력 비율을 보여준다. 전반적으로 개발도상국의 무역전략은 공격적인 것에 비해, 후진국과 선진국의 무역전략은 상대국가에 따라 적절히 대응하는 것이 주된 전략이었다. 개발 도상국은 관세율을 먼저 낮추고 무역 상대국이 따라서 같이 내리도록 유도하고자 하는 것으로 해석된다.

발전 정도에 상관없이 무역 상대국이 자국에게 비협조적인 경우, 보복조치를 취하는 경향이 보였다. 한편, 상대국이 자국에게 관세율을 낮춤에도 불구하고 선진국과 개발도상국은 비협력적인 결과가 나타났다. 이는 상대방의 관세율은 낮추고 자국의 관세율은 높여 이익을 최대화하려는 전략으로 생각할 수 있다.

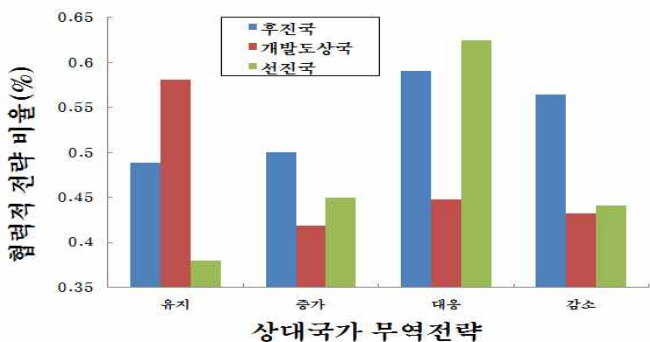


그림 6. 발전 정도별 협력비율(Generation: 1000)

6. 결론 및 토의

본 논문에서는 국가간 무역현상을 모델링 하기 위해 무역의 기본 주체인 국가를 에이전트로 구성하여, 자체

적 전략에 따라 국제 무역에 참여하도록 하였다. 다수 국가는 다른 국가와의 협력 정도를 결정함으로써 무역 개방의 폭을 조절하였으며, 이와 같은 상호작용은 게임 이론을 통해 표현하였다. 또한 무역전략을 무역 상대국의 발전정도와 자국에 대한 무역전략에 대응하도록 설계하였으며, 진화연산을 통해 상황에 적응할 수 있도록 하였다. 마지막으로 실험을 통해 국가간 무역에 있어 국가간 위치, 발전 정도, 관세율 등에 있어 기본적인 무역 현상과 유사한 결과를 확인하였으며, 무역의 지역적 발달 양상과 상대국의 발전 정도에 따라 달리 결정되는 관세율을 확인 할 수 있었다.

향후 연구로는 최근 국가적 이슈가 되고 있는 자유무역협정(FTA)의 발전 양상 및 조건에 대한 시뮬레이션을 할 수 있다. 뿐만 아니라 국가 무역 정책에 영향을 주는 다른 요소들, 예를 들어 개방성 및 국가 신뢰도 등의 개념을 적용하여 벌어지는 국제무역의 전개 양상을 분석해 볼 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0093676).

참고문헌

- [1] R. Grass et al., "An Individual-Based Evolving Predator-Prey Ecosystem Simulation Using a Fuzzy Cognitive Map as the Behavior Model," *Journal of Artificial Life*, vol. 15, no. 4, pp. 423-463, 2009.
- [2] M. Maniadakis and P. Trahanias, "Agent-Based Brain Modeling by Means of Hierarchical Cooperative Coevolution," *Journal of Artificial Life*, vol. 15, no. 3, pp. 293-336, 2009.
- [3] H. Quek, K. Tan and H. Abbass, "Evolutionary Game Theoretic Approach for Modeling Civil Violence," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 13, no. 4, pp. 780-800, 2009.
- [4] H. T. Kim, and S. B. Cho, "Modeling Multi-agent Labor Market Based on Co-evolutionary Computation and Game Theory," *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2143-2148, 2009.
- [5] L. Tesfatsion, "Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up," *Journal of Artificial Life*, vol. 8, pp. 55-82, 2002.
- [6] C. Schoreels and J. Garibaldi, "A Preliminary Investigation into Multi-Agent Trading Simulations using a Genetic Algorithm," In *Proceedings of the UK Computational Intelligence Workshop*, pp. 62-69, 2004.
- [7] G. Grozev et al., "NEMSIM: Agent-based Simulator for Australia's National Electricity Market," *Conference of SimTect*, pp. 2005.
- [8] R. G. Reynolds, Z. Kolti, T. A. Kohler, and L. Y. L. Yap, "Unraveling Ancient Mysteries: Reimagining the Past using Evolutionary Computation in a Complex Gaming Environment," *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, vol. 9, no. 6, pp. 707-720, 2005.
- [9] S. L. Baier and J. H. Bergstrand, "Economic Determinants of Free Trade Agreement," *Journal of International Economics*, vol. 64, pp. 29-43, 2003.
- [10] M. Lawless and Karl Whelan, "A Note on Trade Costs and Distance," *Central Bank & Financial Services Authority of Ireland*, 2007.
- [11] D. Claudia, "Implication of Game Theory to International Trade," *Revista Tinerilor Econoisti*, vol. 1, pp. 132-137, 2008.
- [12] H. Egger, P. Egger, and D. Greenaway, "The Trade Structure Effects of Endogenous Regional Trade Agreements," *Journal of International Economics*, vol. 74, pp. 278-298, 2008.
- [13] G. M. Linders, "Distance Decay in International Trade Patterns: A Meta-Analysis," *European Regional Science Association*, pp. 2005.
- [14] M. Berthelon, "On the Conservation of Distance in International Trade," *Policy Research Working Paper of the World Bank*, 2004.