

그물형 부유식 방파제의 가능성에 관한 실험적 연구

김종현, 노준혁, 김연규, 박안진, 박노식*, 윤범상*

(주)플러스 인터내셔널, 울산대학교*

Experimental Study for Possibility of Net Type Floating Breakwa

Jong-Hyun kim, Jun-Hyuk Rho, Yeon-Kyu Kim, An-Jin Park, Rho-Sick Park*, Bum-Sang Yun*
Plus International Co., Ltd. (Ulsan University)

본 연구는 우리나라 연안해역의 파랑특성과 기존에 개발된 부유식 방파제의 특성을 근거로 하여 개념만 정립되어 있는 Active Device형 부유식 방파제(그물형 부유식 방파제)의 가능성 검증을 목적으로 수행하였다. 본 논문에서는 그물형 부유식 방파제의 방파효율과 관련한 인자들(부유체의 형상, 흘수, 각부유체간의 연결방식)의 특성을 실험을 통하여 비교 분석하였다. 작은 부유체를 연결한 형태인 그물형 부유식 방파제는 부유체 사이를 지나가는 파랑 에너지를 부유체의 운동으로 소멸시키는 형태이다. 실험결과 부유체가 완전히 Heave 운동만 한다면 상당한 파에너지를 흡수할 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

앞으로의 해안 구조물들은 그 구조물이 갖는 본래의 기능 외에도 인간의 휴식처로서의 기능, 환경오염 예방 기능, 시각적 아름다움을 주는 기능 등을 두루 갖춘 구조물이어야 하며, 특히, 수심이나 해저지질조건 등에도 구애받지 않는 구조물이어야 한다. 그러나, 현재 건설되는 대부분의 해안구조물들은 환경과 인간을 배려하는 구조물이라기 보다는 경제적 이익만을 고려한 생태계 파괴형 구조물이라 할 수 있다. 더구나, 기존의 설치된 구조물들은 많은 건설비용과 시간이 소요되었을 뿐 아니라 인근 주민과 지역에 악 영향을 주어 많은 민원을 불러 일으켰다. 이러한 이유로 새로운 개념의 환경 친화적인 해양 구조물을 연구하게 되었고, 그 결과, 실현 가능한 해안 구조물로서 부유식 구조물이 대두되기 시작하였다.[1]

부유식 해양구조물의 장점으로서는 환경오염예방, 매립식에 비한 경제성 있는 건설, 현재 심각한 문제로 대두되고 있는 지진에 대한 피해 예방 등을 들 수 있다. 따라서, 해양 선진국에서는 다양한 종류의 부유식 구조물(해상공황, 해상도시, 해상석유 저장공간, 혐오 폐기물 저장공간, 방파제 등)을 연구개발해 왔으며, 실용화한 부유식 구조물 또한 많이 있다.

본 연구에서는 파랑 중에 놓여 있는 부유식 방파제의 특성을 파악하여 어디에서나 쉽게 적용할 수 있고 설치, 해체가 용이한 새로운 개념의 부유식 방파제(그물형 부유식 방파제)의 가능성을 검증하고자 하였다.

본 연구에서 모델로 택한 그물형 부유식 방파제는 부유체를

일정한 간격으로 배열시켜 각 부유체 사이공간의 상호작용으로 파를 소멸시키는 형태이다. 이러한 방파제는 부유식 방파제의 연구개발에서 가장 문제시되는 큰 파력을 지지할 수 있는 계류시스템 설계, 장파에서 방파효율 저하 등의 문제점을 해결할 것으로 예상된다.

2. 그물형 부유식 방파제의 연구 동기

본 연구를 수행하게 된 동기를 크게 방파원리, 선진외국의 경험, 방파제 설치 해역의 해상조건으로 구분해 설명하기로 한다.

2.1 방파원리로서 보는 연구동기

부유식 방파제의 분류는 부유체의 형상, 재료, 방파원리 등을 기준으로 하여 다양하게 분류되어질 수 있고, 이러한 분류는 그 시대의 기술발전예 근거해 분류하는 것이 통상적이다. 1978년 J. Kato에 의해 분류한 방식을 소개하면 다음과 같다.[2]

a. Passive Devices :

입사파의 에너지를 반사나 흡수, 또는 이 양자의 작용에 의해 파를 감쇄시키는 양식의 구조물을 말하며, 중력식의 일반 방파제와 Pontoon형 부유식 방파제가 여기에 속한다.

b. Active Devices :

입사파에 의해 에너지가 부여되어 새로이 동적 에너지를 발산시키는 장치를 말한다. 이 경우, 입사파 에너지가

부유체의 운동에너지로 변환되어 전달파가 작아지면 방파 효과가 커지게 됨을 의미하게 된다. 예외로서 파동과 부유체운동에 위상차가 생겨 에너지가 상쇄될 때에는 이 부유체계를 Passive Devices로 간주한다.

위에서 언급한 분류 중 본 그물형 부유식 방파제는 Active Devices 형에 속한다. 이러한 방식은 파도의 움직임에 따라 부유체를 자유롭게 움직이게 하면서 파와의 간섭 혹은 박리현상을 이용해 파를 소산시켜야 한다는 것을 의미하며, 이것은 이미 잘 알려진 사실이다. 이를 근거로, 본 연구에서는 개념만 정립되어있는 Active Device형 부유식 방파제의 방파효과를 검증하고자 하였다.

2.2 선진 외국의 실험 경험으로서 보는 연구 동기

18세기에 이미 영국과 불란서에서는 부유식 방파제에 대한 실험이 행해진 기록이 있지만 대규모로 이용된 예는 2차세계 대전시, 연합군이 노르망디상륙작전에 사용한 십자형 단면을 갖는 부유식 방파제였다. 이후 미국과 일본에서 많은 연구를 수행하였으며, 그에 관한 보고서가 나오기 시작했다. 이중 특히 알려진 것은 미해군 토목연구소 보고서 제127호와 제272호이다. 이 내용중 장파장에서 성공 가능성이 보이는 몇 가지를 소개하면 <Fig 2-1>과 같다.[2]

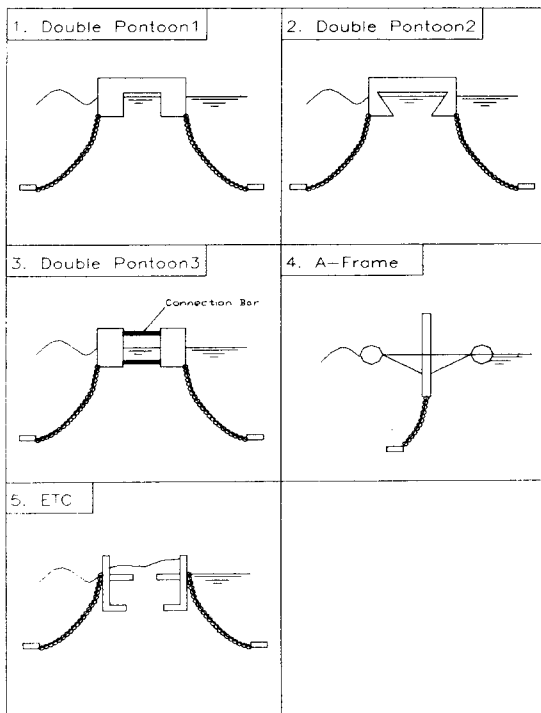


Fig 2-1 The Kind of Floating Breakwater

<Fig 2-1>에서 보는 바와 같이 장파장에서 어느 정도

의 방파효과를 보이는 형태는 대부분 부유체의 형상과 운동을 적절히 이용해 장주기파의 위상을 변화시킴으로서 파를 막는 Passive Device 형태이다. 이와같은 형태는 구조물 자체가 커짐으로 인해 큰 파력을 받게되므로 안전성에 문제가 생기게 된다. 따라서, 이를 개선하고자 본 연구에서는 부유체 크기를 줄이고 부유체를 그물형으로 배치하였다. 이와 같은 작은 부유체의 연결은 파력을 분산시킬 수 있어 계류력을 상당히 줄일 것으로 판단된다.

2.3 부유식 방파제 설치해역의 해상조건으로 보는 동기

심해파랑이 천해역으로 진입시에는 천수변형과 굴절에 의해 파장이 짧아지고 파고가 높아지면서 파가 쇄파되는 현상을 보인다. 연안항만의 설계시에는 일반적으로 계측된 심해 유의파를 이용하여 굴절 및 회절효과를 반영한 천해 유의파를 산출하여 설계한다.

우리나라 전 해상에서의 심해 설계파는 재현기간 50년을 기준으로 했을 경우, 파고는 6.5~10m 정도이고, 주기는 10~14sec 정도이다. 그러나, 위에서도 언급했듯이 파의 증폭에 수심의 영향을 받는 작은 해역 및 만내와 같이 수심이 얕은 해역에 있어서의 파고는 1.0~2.5m 정도이고 주기는 5~6sec (브렛슈나이더의 천해파 추산법으로 추정했을 경우)정도이다.[3]

부유식 방파제의 해역조건이 위와 같이 만내로 국한되어진다면 부유체 크기는 수심에 많은 지배를 받게 된다. 따라서, 작은 부유체를 이용한 부유식 방파제를 개발하고자 하였다.

3. 실험

본 실험은 울산대학교에서 보유하고 있는 길이30 m, 폭 0.5m, 높이 0.6m인 2차원 조파수조에서 수행하였다. 파장은 모델폭의 5배까지 변화시켰고, 파고는 각각의 경우에 3, 4, 5, 6cm로 하여 실험하였다. 조파수조의 수심은 35cm로 일정하게 유지하였으며, 계측은 용량식 파고계를 이용하였다. 모델의 위치는 조파기로부터 시작된 파가 정상파가 되는 위치에 두었다.

투과파 계측 방법은 모델로부터 일정거리(5m) 떨어진 위치에서 계측하는 방법과 두 파장 뒤에서 계측하는 방식 두 가지 방법으로 계측하였다. 두 번째 방법은 매 실험마다 파고계의 위치를 옮겨야 하는 불편한 점도 있지만 본 실험과 같이 크기가 다른 많은 모델들의 방파효과를 상대적으로 비교하는 데에는 효과적이라 판단된다.

계류방식은 MOD-A에서 MOD-D까지는 인장각식을 사용하였으며, MOD-E, F는 Catenary 방식을 선택하였다. Catenary 방식은 부유체를 좀더 자유롭게 운동시키는데

도움이 될 것으로 판단되어 채택하였다.

3.1 MOD-A 계열 실험

MOD-A 계열은 기초 실험으로 모양이 다른 각 부유체를 임의적으로 선택해 수행한 실험이다. 부유체 및 부유체 연결부의 재질, 부유체의 형상, 부유체의 연결방법 모두를 달리하며 실험하였다.

계류방식 : 인장각식

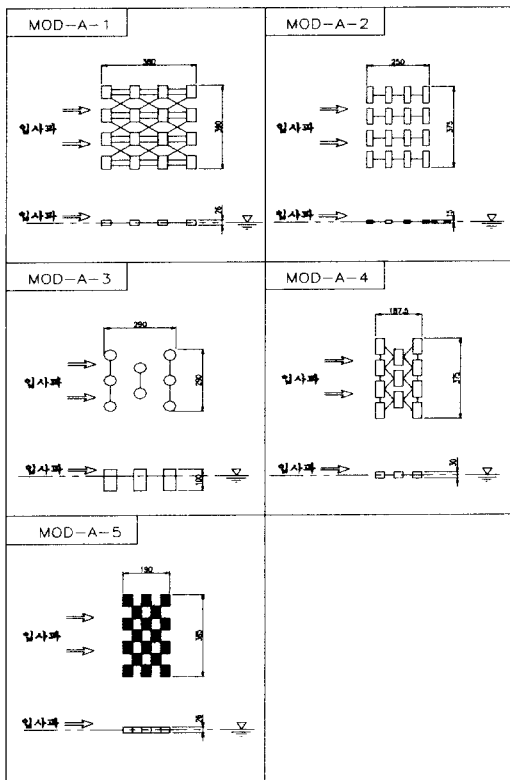


Fig 3-1 MOD-A

MOD-A 계열에 있는 모델들은 단주기 영역에서는 약간의 방파효율을 보이나 장주기 영역에서는 상대적으로 부유체가 큰 모델을 제외하곤 파를 전혀 막지 못하였다.

본 실험을 분석해 볼 때 부유체의 크기 및 중량은 방파 효율과 관련해 가장 중요한 Factor임을 알 수 있었다. 즉 부유체의 배열에 앞서, 작은 외력을 받으면서도 파를 효율적으로 소멸시킬 수 있는 부유체의 크기 및 중량을 찾는 것이 우선시 되어야 할 것으로 판단된다.

적절한 부유체의 크기 및 중량을 찾기 위해선 계류력 체크를 반드시 수행하여야 하나, 본 실험의 취지상 정확한 계류력 체크는 불필요한 것으로 판단되어 이를 대신할 수 있는 부유체의 운동을 체크하여 부유체의 크기 및 중량을 결정하였다. (단, 부유체가 너무 커지지 않는 범위에서)

3.2 MOD-B 계열

MOD-B 계열은 MOD-A 계열에 의거하여 아래의 <Fig 3.2>와 같이 부유체의 크기 및 출수를 조정하여 입사파의 방파정도를 실험하였다.

계류방식 : 인장각식

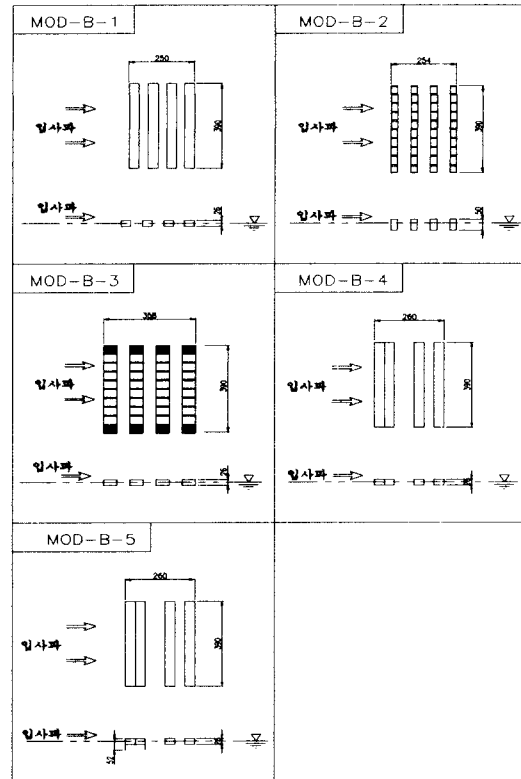


Fig 3-2 MOD-B

MOD-B 계열은 단주기 영역에서는 부유체 운동이 원활이 이루어져 파의 상호간섭의 영향을 시각적으로 볼 수 있었으나 장주기 영역에서는 파를 타고 넘는 경향을 보였다.

그 결과 단주기, 장주기 영역에서 각각 50%, 10%이하의 저조한 방파효율을 보였다.

위 실험에서는 부유체를 배열할 때 최전방 부유체의 크기를 다른 부유체 보다 좀더 키우는 것이 같은 양의 재료도 효율적으로 파를 소산시킬 수 있는 방법임을 알 수 있었다. 또한, 건현과 출수의 크기비가 방파효율에 적지 않은 영향을 미침을 관측하였다.

3.3 MOD-C 계열

MOD-B 계열의 실험 결과에서 우수한 방파효율을 보인 MOB-B-4, MOD-B-5의 세부사항 실험으로 본 실험을 수행하였다.

계류방식 : 인장각식

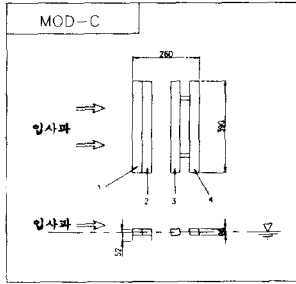


Fig 3-3 MOD-C

본 실험에서 단파인 경우, 최전방 부체에 부착된 소파판으로 인한 방파성능의 향상이 확연히 나타났으며, 소파판의 높이는 부유체와 높이가 같을 때 방파효율이 우수한 것으로 나타났다. 하지만 소파판의 높이를 부유체높이 2배 이상으로 증가시킨 경우 부유체의 Pitching 운동을 증가시켜 오히려 방파효율이 떨어지는 현상을 보였다.

3.4 MOD-D 계열

MOD-C 계열까지 실험한 결과를 분석해 볼 때, 방파효율을 획기적으로 끌어올리기 위해서는 현재까지 수행한 모델의 크기조정, 배열조정, 소파판조정 만으론 한계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 잠수부체를 사용해 돌핀타입의 장점을 살리면서도 본 실험의 목적인 “부유체의 운동과 파의 박리현상을 이용한 파의 소멸”을 효과적으로 적용할 수 있는 <Fig 3-4> 에 보이는 형태의 방파제를 이용하여 실험을 하였다.

본 실험결과, MOD-D-1, MOD-D-3와 같이 완전한 Heave 운동을 하는 경우에는 방파효율이 우수함을 관측할 수 있었으나, MOD-D-2와 같이 파 진행방향으로 두 개의 Hole이 있어, 완전한 Heave 운동을 못할 경우에는 방파효율이 저하되는 것을 관측할 수 있었다. 또한 수중에 설치된 잠수부체는 조파수조 바닥으로부터 7~8cm위치에 있을 때 가장 우수한 방파효율을 보였다. 즉, 파에너지의 대부분을 포함하는 자유표면 근처에 잠수부체가 있을 경우에는 심한 Pitching 운동으로 방파효율이 저하되고, 또한 바닥면에 가까워지면 바닥효과로 인해 방파효율이 저하됨을 관측할 수 있었다. 따라서 안정된 Heave 운동이 이루어질 수 있는 잠수부체의 위치선정이 우선 해결되어야 함을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

이번 실험을 통하여 잠수부체를 이용함으로써 돌핀계류의 장점을 살릴 수 있음을 알 수 있었다.

잠수부체를 이용한 돌핀타입은 본 연구개발에서 추진하는 만큼 방파효율이 좋게 나왔으나, 이 역시 주기가 짧은 해역인 수심이 얕은 해역에 설치하기에는 어려운 점이 많을 것으로 판단된다.

계류방식 : 인장각식

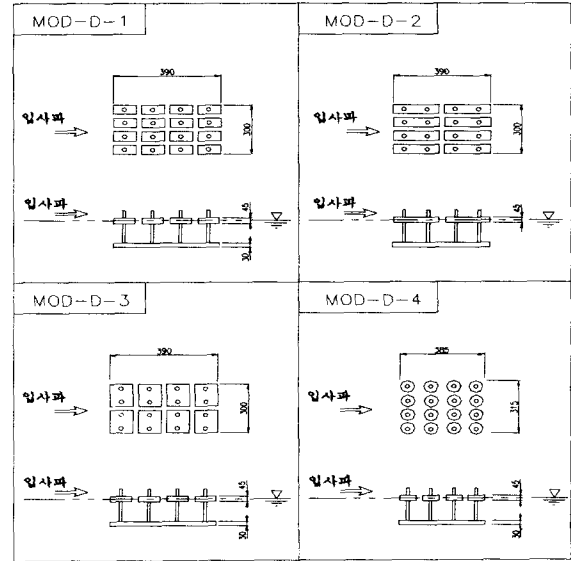


Fig 3-4 MOD-D

3.5 MOD-E 계열, MOD-F 계열

MOD-E와 MOD-F계열은 현재까지 실험한 내용 중 우수한 방파효율을 내는데 기여했던 각종 인자들을 종합정리하여 모델을 만들었다.(MOD-D 계열에서처럼 완전한 Heave 운동은 /방식자체가 달라 구현하지 못했다.)또한, 계류라인을 Catenary로 변화시켜 좀더 자유로운 운동을 하도록 모델을 설계하였다.

MOD-E 계열은 부유체의 연결방식을 Rigid하게 연결하였고, MOD-F 계열은 Flexible하게 연결하였다. <Fig.3-5>

본 실험의 방파효율은 MOD-D 계열의 방파효율 보다 떨어짐을 관측할 수 있었다. 결국, 이것은 완전한 부유체의 Heave 운동을 구현하는 방파 시스템을 설계하지 않고서는 어떠한 것(형상변화, 배열변화, 흡수변화, 부유체 연결방식)도 Active Device 형 부유식 방파제의 방파효율을 증가시키는 데에 직접적인 원인을 제공하지 못함을 의미한다.

계류방식 : Catenary

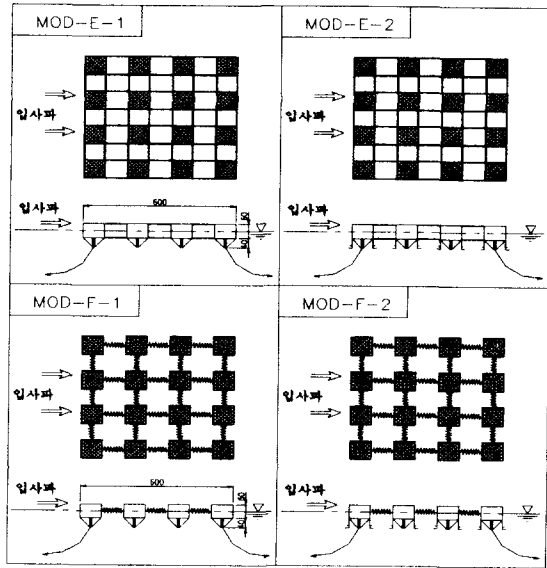


Fig 3-5 MOD-E, F 계열

4. 결론

방파효율은 어느 특정한 인자로 인해 변하는 것이 아니라 전체 시스템의 상호 작용으로 인해 변한다. 예를 들면, 같은 크기, 같은 흘수의 사각형 부유체가 어느 특정한 수심에서 원형 부유체보다 효율이 좋더라도 수심을 달리 할 경우 꼭 사각형 부유체가 효율이 좋은 것은 아니다. 그렇지만 여기서는 가능한 일반적인 사항들을 기술하면서 비교 분석하기로 하겠다.

i) 부유체 형상 변화에 따른 방파효율 비교

현재 본 실험에서는 형상을 크게 사각형, 삼각형, 원형을 두고 실험하였는데 큰 차이가 나지는 않지만, 사각형 부유체가 제작상이나 효율 면에서 다소 우수하였다.

ii) 부유체 상호작용에 따른 방파효율 비교

부유체간의 상호작용으로 인한 파의 소멸은 기대만큼 크지 못했다. 즉, 모든 계열 실험에서 얻은 결과를 볼 때, Heave 운동을 제외한 어떠한 부유체 운동도 장파에서 파를 소멸시키는데 기여하지 못했다.

iii) 소파판의 유무에 따른 방파효율 비교

MOD-C 계열의 실험으로 알 수 있듯이(소파판의 길이가 부유체높이의 2배인 경우가 가장 우수한 효율을 보인다. 하지만, 그 이상의 크기로 증가한 경우 오히려 방파효율은 떨어진다.)소파판을 부유체높이와 같은 길이로 부유

체 아래에 설치하면 방파효율이 좋아짐을 알 수 있다.

iii) 부체의 연결방법에 따른 방파효율 비교

부유체 상호간의 연결을 Rigid 하게 연결하는 혹은 Flexible하게 연결하는 어느 것도 장파에서는 거의 차이가 없이 모든 입사파를 그대로 투과시킨다.

결론적으로 부유체의 완전한 Heave 운동을 제외하면 어떠한 것도 본 모델의 방파효율을 획기적으로 증가시키는 데에 직접적인 원인을 제공하지 못함을 알 수 있었다.

5. 향후 계획

단지 가능성 확인을 목적으로 하여 수행한 실험이지만 3차원적인 모델을 2차원 조파수조에서 수행하는 데에는 좀 무리가 있었던건 사실이다. 하지만, 정성적인 상대비교로 실험을 일관하였기 때문에 방파효율과 연관된 각 인자들의 특성을 정의하는 데에는 미흡함이 없었을 것으로 판단된다.

앞으로는 3차원 해양공학수조에서 본실험의 미흡한 부분을 보강할 예정이다. 특히, 가능성이 보였던 MOD-D계열의 경우에는 세밀하고 정확한 실험을 통해 정량적으로 판단하고자 한다.

후 기

오랜 기간에 걸쳐 실험한 결과를 짧은 시간에 있는 그대로 정리한 논문이라서 내용 구성이 매끄럽지 못함을 양해 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] (주) 해양부설기술개발연구소(1996). "부방파제의 설계를 위한 수치모형개발연구"
- [2] 한국과학 기술원 해양연구소(1987). "부소파제 개발을 위한 기초연구".
- [3] 해운항만청(1993). "항만시설물 설계기준서"
- [4] 김도영(1997). "부유식방파제의 소파특성에 대한 연구", 대한조선학회 학술대회 추계논문집, pp 305~311.