

# FOCUS

## 최근 서해지진과 우리나라의 지진대책 발전 방향



김재관

한국지진공학회 회장  
서울대학교 건설환경공학부 교수

### 1. 서론

금년 4월 21일과 5월 18일 두 차례에 걸쳐서 서해 해상인 신안군 흑산도와 인천 백령도 남쪽에서 규모 4.9의 지진이 연이어 발생하였다. 비록 피해는 초래하지는 않았지만 이 두 지진은 우리나라에 지진위험에 대한 경각심을 일깨워 주었다. 또한 이들 지진은 우리나라 지진위험도를 더 정확하게 재평가해야할 필요성이 있다는 것도 깨닫게 해주었다.

본고에서 필자는 이 두 지진을 계기로 하여 우리나라의 지진위험을 되돌아보고 앞으로 우리나라의 지진대책의 발전방향을 이 글을 읽는 독자들과 함께 생각해보고자한다. 이 글은 전문적이고 기술적으로 논의하는 학술논문이 아니므로 독자들도 그렇게 받아들여주기를 부탁하는 바이다. 특히 여기서 제시하는 아무르 판에 대해서는 단층학자들과 지진학자들이 앞으로 학문적으로 조사와 연구를 거쳐서 밝혀내야할 장기 연구주제라고 생각된다.

### 2. 세계의 지판들

지진은 특정지역에서 발생하지만 그렇게 발생되기까지는 전 지구적인 지각운동의 결과이라는 것은 이미 잘 알려져 있다. 그러므로 우리나라의 지진위험을 논하더라도 시작은 전 지구적인 관점에서 출발할 수밖에 없다.

지진은 판구조운동에서 비롯된다. 지구의 최외각의 단단한 암석권은 크고 작은 판으로 나누어져서 독립적으로 운동을 하고 있는데 판들을 움직이는 힘은 결국 지구 내부의 에너지와 물질의 대류작용에 기인한다고 한다. 판들이 운동하면서 서로 부딪치거나 하나의 판이 다른 판 아래로 삽입하는 작용이 일어나게 되는데 그 과정에서 스트레인 에너지가 지각에 축적되었다가, 한계에 도달하면 단층운동 등으로 방출되면서 지진파가 발생해서 전파하고 땅을 흔들게 된다. 땅의 진동은 그 위에 건설된 인공 시설물을 손상시키거나 파괴할 수 있고 결국 재산과 인명 피해까지 유발하게 된다. 이것을 우리는 통상적으로 지진이라고 부른다.

최근의 연구 성과에 의하면 전 지구적으로 모두 52개의 크고 작은 판들이 식별된다고 한다. 이 판들 중에서

14개는 큰 판들이고 38개는 소규모 판들이네 야구에 비한다면 메이저 리그와 마이너 리그로 분류된다고 하겠다. 그림 1에 이 판들의 경계가 지도에 표시되어 있는데 우리나라 주변의 지각도 놀랍게도 여러 개의 지판으로 나누어져 있는 것을 볼 수 있다. 이 지도에서 우리나라는 큰 유라시아판의 일부인 아무르판(AM)에 놓여있다. 아무르판의 존재에 대해서는 최근 여러 학자들이 연구 결과를 제시하고 있는데 판의 경계 등에 대해서는 아직 불명확한 사항들이 많은 것 같다. 여기에 대해서는 잠시 후에 다시 언급하기로 하자.



Peter Bird, 2003. An Updated Digital Model of Plate Boundaries. *Geochemistry Geophysics Geosystems*.

그림1. 세계의 지판들 (Peter Bird, 2003)

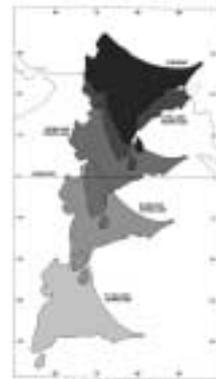
### 3. 우리나라에 인접한 지판들의 운동

한 쪽으로 우리나라에 지진을 일으키는 판구조 운동을 가장 잘 설명하는 것은 그림 2라고 생각된다. 인도-호주판이 히말라야 산맥을 경계로 유라시아 대륙과 충돌 아니 유라시아판 안으로 밀치고 들어오고 있다. 그림 3이 예시하고 있듯이 인도-호주판은 과거 4000만년에 걸쳐서 북쪽으로 2000km를 이동하였다고 한다. 그런데 이 판의 오른 쪽 경계에서는 태평양판이 유라시아판 아래로 섭입하면서 튼튼하게 받히고



Sabatini, R.D., 1986. *Exploring our tectonic plates*, National Geographic Society

그림 2. 인도-호주판과 유라시아 대륙의 충돌



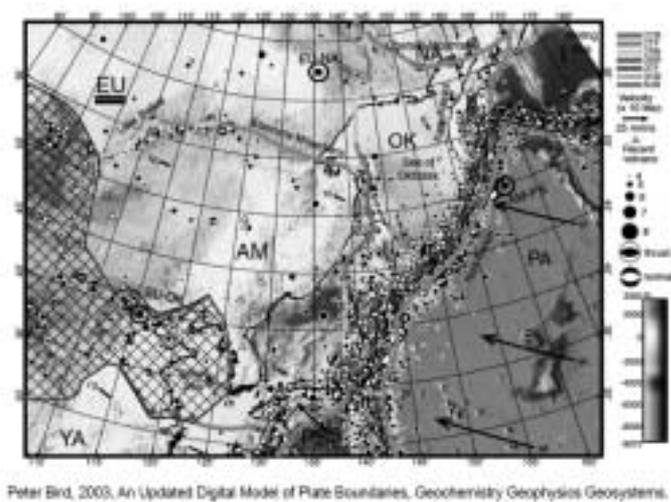
India's northward drift  
Solt, S.A., 1979. *Earthquakes and volcanoes*,  
W.H. Freeman and Company

그림 3. 인도-호주판의 북쪽에서의 이동

FOCUS

있다. 그 결과 그 중간에 있는 유라시아판은 큰 판구조력을 받고 있고 인도-호주판의 이동 경로에 있던 유라시아 대륙의 구성 물질들은 앞으로 또 옆으로 밀려나가면서 여러 가지 형태로 지각을 변형시키고 있다. 이 힘이 결국 우리나라에도 영향을 주어서 지진을 일으킨다고 생각된다.

그런데 앞서 잠시 언급하였듯이 우리나라는 새로운 이론에 의하면 아무르판 내부에 있다고 한다. 그림 4는 우리나라 주변의 지판들을 좀 더 자세하게 보여주고 있다. 아무르판의 북쪽 경계에는 바이칼 호수 동쪽으로는 일본의 서해를 따라서 오츠크판 아래로 섭입하고 있고 남쪽으로는 Yangtze판과 접하고 있으며 놀랍게도 우리나라의 서해를 남북으로 왼쪽 경계의 일부가 지나고 있다. 물론 우리나라 서해에서의 경계는 비록 열개(Rift) 경계이기는 하지만 우리나라에 판경계가 지나간다는 사실이 놀랍기는 여전하다.

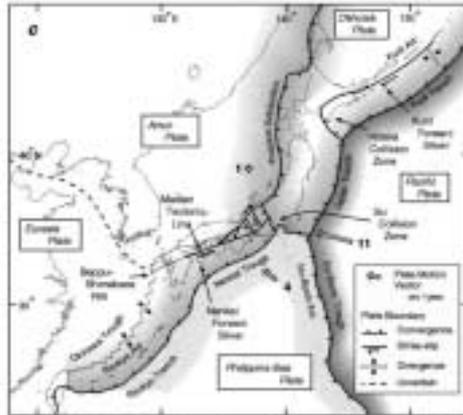


Peter Bird, 2003, An Updated Digital Model of Plate Boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems.

그림 4. 아무르판의 경계 (Peter Bird, 2003)

일부 일본학자들도 아무르판에 대해서 이론을 제시하고 있는데 그림 5에 주어진 그들이 상정하는 서쪽 경계는 그림 4에서의 위치와 차이가 있으나 여전히 서해를 남북으로 가로 지른다는 점에서는 동일하다. 물론 이 학자들은 서해에서의 경계는 위치가 불명확하다는 단서를 달고 있다.

지진위험에 관점에서 중요한 것은 이들 판들 간의 상대속도인데 동쪽 경계에서는 오츠크판 아래로 연간의 속도로 섭입하고 있는데 그에 비해서 우리나라의 서해를 지나가는 서쪽 경계에서 열개(Rift) 속도는 연간 약 라고 추정하고 있다. 아무르판의 경계는 1976년 규모 7.8의 지진으로 약 60만 명의 사망자가 발생한 중국 당산 근처를 지나간다. 중국학자들은 만약 당산에서 비슷한 지진이 다시 발생한다면 그 주기는 약 7500년으로 추정하고 있다. 2008년 규모 7.9의 쓰촨 지진도 재현주기가 약 4300년으로 추정하고 있는데 지각의 이동 속도는 연간 약 이었다고 추정되고 있다.



Asahiko Taira, 2001, Annual Review of Earth and Planetary Sciences.

그림 5. 아무르판의 경계 (Asahiko Taira, 2001)

학자들은 서해에서의 아무르판의 경계는 동서로 Rift하는 경계라고 제안하고 있으며 앞서 언급하였듯이 그 속도는 연간 라고 추정하고 있다. 동서로 Rift하는 운동은 동북-남서 방향 또는 북서-남동 방향 주향이동 단층운동을 일으킬 수 있다. 즉 만약 서해의 아무르판 경계에서 지진이 발생한다면 이는 주향이동 단층 지진이 될 것이라는 예측이다.

#### 4. 아무르판과 서해지진

금년 서해에서 발생한 진앙을 보여주는 기상청 자료가 그림 6에 주어져 있다. 두 지진의 진앙은 우연하게도 남북으로 지나가는 직선위에 놓이게 된다는 것을 쉽게 알 수 있다. 이 그림을 그림 4와 그림 5와 비교하여보면 흥미로운 추측에 도달할 수 있다. 즉 두 지진의 진앙이 아무르판의 경계에 놓여있거나 인접하고 있을 가능성이 높다는 것이다.

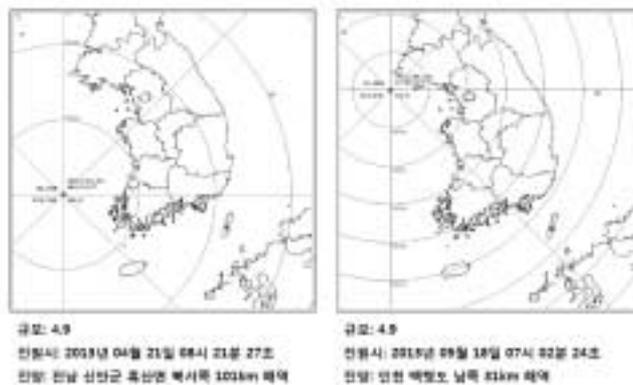


그림 6. 2013년 서해 지진의 진앙 위치

FOCUS

그리고 최근 서해 지진의 발진기구에 대해서 (김준경 교수 등의) 학자들의 의견은 주향이동단층 운동일 가능성이 높다고 한다. 이 두 가지 사실들을 아무르판의 가설에서 예측할 수 있는 것과 동일하여 우리에게 의미하는 바가 크다. 만약 이 가설이 사실이라면 서해에서 비록 주기는 매우 길겠지만 큰 지진이 발생할 가능성이 있게 된다.

### 5. 우리나라에 발생할 수 있는 지진원의 유형들

전 지구적인 판구조 운동과 또 우리나라에 인접한 지역에서의 지판의 운동을 고려하고 실제 기록에 근거하면서 앞서 언급한 아무르판 가설을 잠정적으로 받아들이면 우리나라에 영향을 줄 수 있는 지진원은 발진기구의 형태에 따라서 크게 다음 네 가지로 나눌 수 있다.

- (1) 우리나라 내륙의 단층에서 발생하는 주향이동단층운동
- (2) 우리나라 동해의 단층에서 발생하는 역단층운동
- (3) 우리나라 서해의 아무르판 경계에서 발생하는 주향이동단층운동
- (4) 일본의 서해의 아무르판의 섭입에 의한 thrust 단층운동

첫 번째 경우는 많은 연구가 진행된 사례에 속하는데 박창업 교수의 연구 성과의 하나인 다음 그림 7에 의해서 잘 설명될 수 있다. 즉 우리나라는 주로 동서 방향으로 압축을 받고 있으며 따라서 동서와 방향의 주향이동단층 운동에 의해 발생하는 지진이 지배적이라고 한다. 지진학자들은 우리나라 내륙에 있는 이러한 단층에서 최대 규모 6.5 정도의 지진이 과거에 발생하였으며 또 미래에 다시 발생할 수 있다고 추정하고 있다.

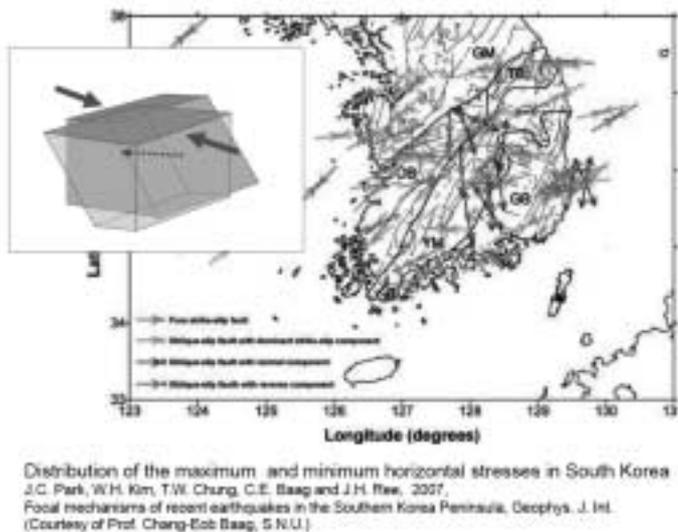


그림 7. 우리나라 지각에서의 최대수평응력 방향 (박창업 등, 2007)

두 번째는 우리나라 동해의 단층에서 가능한 역단층운동인데 이로 인해서 동해안에는 지반진동과 동시에 국지적인 지진해일도 발생할 수 있다. 과거 역사지진기록에 의하면 1681년에 삼척에서 지진해일 현상과 함께 지반 진동이 있었다고 하고 1643년 울산의 해안에서 지반진동과 지진해일이 있었고 심지어는 액상화 현상까지 관찰되었다고 기록되어 있다. 2004년 발생한 규모 5.1의 울진에 대한 연구에서 강태섭과 박창업은 그 지진원이 역단층운동이었다고 그림 8에서 분석하고 있다.

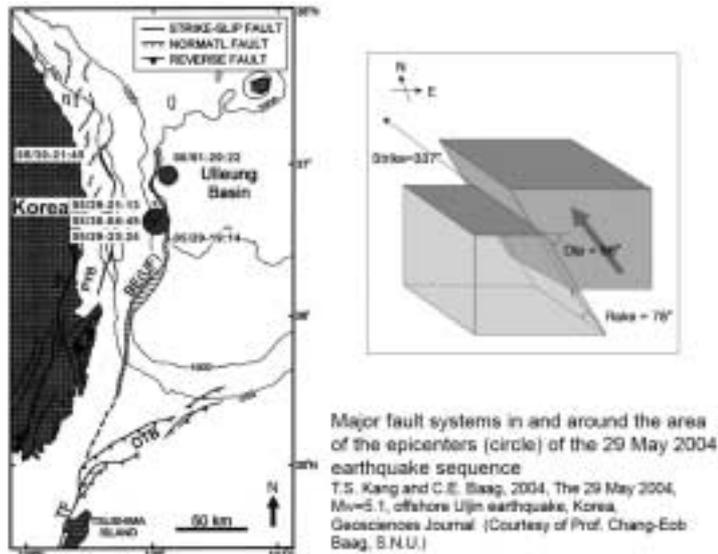


그림 8 2004년 울진지진에서의 단층운동 (강태섭과 박창업)

세 번째는 우리나라 서해의 아무르판 경계에서 발생하는 주향이동단층운동인데 발진기구는 사실상 첫 번째 경우와 동일하다. 그런데 별도로 구분한 이유는 판경계에서 생긴다는 것이고 따라서 지금까지 예상했던 것 보다는 큰 지진이 발생할 가능성이 높아졌다는 것이다. 이 사실은 잠시 후 논의하겠지만 우리나라의 지진위험지도 작성에 시사하는 바가 매우 크다고 하겠다. 하나 특기할 사항은 서해에서 발생하는 지진의 발진기구가 지배적으로 주향이동단층운동이라면 이러한 지진에 의해서 지진해일이 만들어질 가능성의 거의 없다는 것이다. 즉 해수를 대규모로 아래위로 움직여야 지진해일이 생길 수 있는데 주향이동단층운동에는 이러한 효과를 기대할 수는 없다.

네 번째인 마지막 경우는 일본의 서해의 아무르판의 섭입에 의한 thrust 단층운동인데 이러한 발진기구는 지진의 규모가 나 그이상이면 대규모 지진해일을 만들어 낼 수 있다. 일본 서해안에서 생성된 지진해일을 동해를 건너와서 우리나라 동해안 또는 남동해안에 피해를 일으킬 수 있는데 실제로 1984년 임원 항에서 그러한 피해 사례가 있었다.

FOCUS

### 6. 서해지진과 우리나라 지진위험지도

현재 우리나라의 지진대책은 1997년도 한국지진공학회가 당시 건설교통부의 의뢰를 받아서 수행한 내진설계기준연구(Ⅱ)에서 제시한 지진위험지도 지진구역도 및 지진계수에 따르고 있다. 그 연구에는 당시 우리나라 지진학자들 모두가 참여하였으며 합의에 근거해서 그림 9의 위험지도가 만들어졌다. 그림 9에는 재현주기 약 1000년 지진과 2400년 지진에 대한 등고선 형태의 지진위험지도이다.

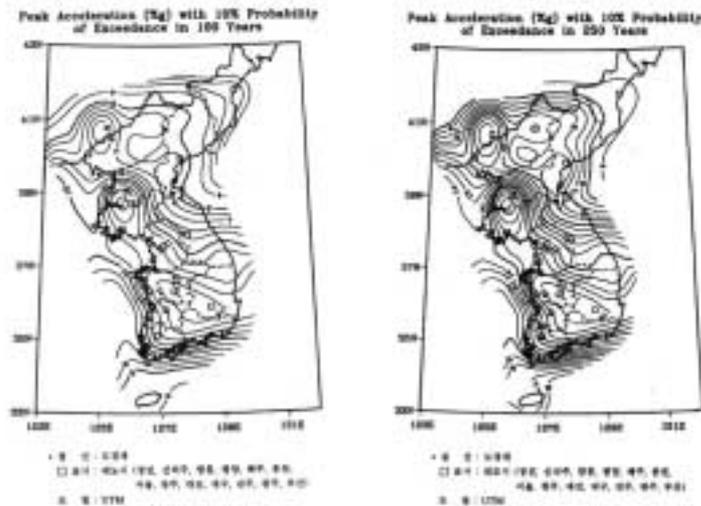


그림 9. 지진위험지도 (건설교통부와 한국지진공학회, 1997년)

이 지도들에서 하나 주의를 촉구하는 것은 서해안과 남동해안에서 등고선이 가파르게 낮아진다는 것이다. 그 이유는 당시에는 서해에서 기록된 지진 자료가 거의 없었고 있었어도 작은 규모에 의한 것이었기 때문이었다. 그렇지만 이 지도들은 그 당시 우리나라가 보유하고 있던 기록과 지식과 기술에 의해서 제작된 최선의 성과였다. 이 등고선 형태의 위험지도에 근거해서 사용의 편의를 위해서 지진구역도가 제작되었고 지진구역계수가 표 1과 같이 설정되었다.

그런데 앞서 잠시 언급하였지만 금년 4월과 5월에 연이어서 서해에서 발생한 지진은 서해의 지진활동이 내륙에 버금갈 수 있고 어쩌면 내륙에서 보다도 더 큰 지진이 아무르판의 경계에서 발생할 수 있는 가능성을 제시하였다. 즉 1997년 지진위험도 작성의 가정 사항이 달라진 것이다. 게다가 금년 3월 14일 한국지진공학회의 학술대회 때 개최되었던 공청회에서 한국지질자



그림 10. 지진구역도 (건설교통부와 한국지진공학회1997년)

표 1. 지진구역계수 (건설교통부와 한국지진공학회1997년)

지진구역	행정구역						지진구역개수 (500년 기준)
I	시 서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주						0.11g
	도 경기, 강원, 남부, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남 북동부						
II	도 강원 북부, 전남 남서부, 제주						0.07g
재현주기	50	100	200	500	1000	2400	
위험도지수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	

원연구소 지진센터는 1999년에 2구역으로 편성되었던 강원도 북부와 전라남도 해안지역의 지진위험이 기존의 1구역과 거의 동일하다는 연구결과를 발표하였다.

이 두 가지 새로운 사실은 우리나라의 지진구역이 시급하게 재설정할 필요가 있다는 것을 입증하고 있다. 비록 지진위험지도도를 다시 작성하는 데는 장시간이 소요되겠지만 지진구역과 구역계수는 잠정적으로 개정될 필요성이 대두한 것이다. 정부는 내진설계가 안된 기존 시설물의 내진보강을 시행하고 있는데 그 기준 되는 지진의 세기를 새로운 연구 성과와 과학적 지식과 사실에 근거해서 합리적으로 설정할 필요가 강하게 대두되고 있다.

## 7. 서해지진과 우리나라 지진대책 발전 방향

지진에 대한 사전 대책으로는 대표적으로 내진설계와 내진보강을 들 수 있다. 우리가 내진설계와 보강의 목적에는 시설의 기능을 유지하는 것도 있지만 가장 중요한 것은 역시 인명 보호이다. 인명 보호의 측면에서 보면 건물이나 시설을 내진설계하고 보강할 때 가장 중요하는 것은 팬케이크 붕괴는 어떻게 해서라도 방지해야 하는 것이다. 그림 11에는 1985년 멕시코 지진과 1999년 터키 이즈미트 지진에서 관찰된 팬케이크 붕괴의 예가 주어졌다. 팬케이크 붕괴란 사진에서 직관적으로 알 수 있듯이 기둥과 슬래브의 연결이 파괴되어서 여러 층의 슬래브가 팬케이크처럼 차곡차곡 쌓이는 형태의 파괴 모드인데 층간의 공간이 없어져 버리는 붕괴이다. 이러한 붕괴가 일어나면 사람들이 몸을 숨길 수 있는 공간이 전혀 없게 되어 대규모의 인명 피해를 초래하게 된다. 따라서 지진공학자들은 또는 정책자들은 최우선적으로 이러한 피해를 방지할 수 있도록 내진설계를 해야 하고 내진보강을 하여야 한다.

그런데 이러한 피해를 방지할 수 있도록 내진설계되고 내진보강된 시설물은 지진하중 뿐 아니라 폭발하중과 같은 다른 하중에 대해서도 높은 저항력을 가지고 있다는 것이 입증되고 있다. 1995년 4월 19일 미국 오클라호마 연방정부청사에 폭발물에 의한 테러 공격이 있었는데 그림 12에서 확인할 수 있듯이 비록 건물의 일부는 완전하게 파괴되었으나 나머지 부분은 골조가 그대로 유지되었고 그 결과 인명 피해를 크게 줄일 수 있었다고 한다. 사후 분석에서 비록 폭발하중에 대해서 명시적으로 저항력을 갖도록 설계되어 있지는 않았지만 내진설계가 되어 있었기 때문에 그 건물은 폭발하중에 대해서도 상당한 저항능력을 보유하고 있었다는 것이 밝혀졌다.

FOCUS

Randolph Langenbach, 2006, Preventing Pancake Collapses International Disaster Reduction Conference.



그림 12. 팬케이크 붕괴 모드



그림 13. 미국 오클라호마 연방정부청사 폭발물 피해 사진

이 교훈은 우리나라에 의미하는 바가 매우 크다고 하겠다. 남북이 대치하고 있고 북한이 끊임없이 공격하겠다고 위협하고 있는데 이에 대한 최소한의 대비는 국가적으로 실시할 필요가 있다고 생각할 수도 있다. 비록 우리가 명시적으로 폭발하중에 대해서 견디도록 건물과 시설을 설계하고 건설하지 않더라도 만약 이들이 내진성능을 갖도록 설계되고 보강된다면 유사시에 안전에 크게 기여할 수 있다는 것이다. 즉 우리나라에서 내진설계와 내진보강은 국가 전체적인 안보 관점에서 아주 큰 가치가 있고 당위성이 있다는

것을 나타낸다고 하겠다.

서해지진이 지진대책의 발전 방향에 던져주는 첫 번째 교훈은 우리나라 지진위험도이다. 이미 앞서 언급하였듯이 1997년도에 작성된 지진위험지도와 지진구역도에서는 강원도 북부와 전라남도 일부와 남서해안 및 도서 지역과 심지어는 아무르판의 경계가 가까이 지나갈 가능성이 있는 제주도의 지진위험도를 실제보다도 낮게 평가하고 있을 가능성이 높아진 것이다.

그러므로 현재 지진2구역(1, 2)을 모두 1구역으로 상향하여 전국을 그림 14와 같이 단일 1구역으로 조정할 필요가 있다고 판단된다. 그리고 현재 지진구역도와 함께 1997년에 작성된 등고선 형태의 지진위험지도는 서해와 남해의 도서지역에서 특히 진도를 낮게 평가하고 있을 가능성이 매우 높으므로 바로 사용을 중단시키는 것을 고려할 필요도 있다. 그리고 내진설계 뿐 아니라 내진보강을 할 때도 지진계수는 표 2에 제시된 지진1구역의 계수를 전국에 동일하게 적용하는 것을 논의할 필요가 있다.

이러한 조정안을 실시하면 기존의 2구역에 속해있던 지역에서의 설계진도가 높아지게 되어서 건설비용이 상승하는 경제성 문제가 제기될 수 있다. 그런데 금년도 한국지진공학회 학술대회의 공청회에서 발표된 자료에 의거하면 실제 건설비의 상승은 경미하여 그 충격은 산업계가 충분히 흡수할 수 있는 것으로 보인다.



그림14. 전국 단일 지진구역 조정안

표 2. 전국 단일 지진구역 지진계수 조정안

지진구역	행정구역					지진구역개수 (500년 기준)
I	전국					0.11g
재현주기	50	100	200	500	1000	2400
위험도지수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

서해지진은 내진보강의 정책에 있어서도 몇 가지 사항을 재고할 필요가 있다는 것을 가리키고 있다. 첫 번째 내진보강의 우선순위를 결정하는 단계에서 시설물별로 우선순위를 부여해야 할 뿐 아니라 지역적으로 우선순위를 구분해야 할 필요가 있다. 만약 지진구역을 상향조정한다면 가장 큰 영향을 받는 지역은 기존의 2구역에 속한 지역이다. 그리고 서해지진을 생각한다면 서해 도서지역이 우선적으로 고려되어야 할 것 같다. 물론 시설별로는 긴급대응시설과 다중이용시설 및 초중고교 건물에 당연히 우선권을 부여해야 한다. 내진보강할 때는 설계지진하중의 수준이 문제가 되는데 등고선 형태의 지진위험지도는 사용을 중단시키고 지진1구역 지진계수를 사용하여야 안전측이 될 것이다.

FOCUS

지금까지는 주로 내진설계와 보강의 관점에서 검토해보았다. 그런데 지진구역의 조정 등은 어디까지나 잠정적인 조치에 불과하다. 서해에 아무르판의 경계가 지나가고 있거나 다른 형태의 큰 지진단층이 있을 가능성이 매우 높다는 것을 서해 지진이 시사하고 있으므로 지진재해대책에서는 이를 과학적으로 탐사하는 것이 가장 중요하고 시급한 과제라고 생각된다. 단층의 존재를 의심할 여지가 없도록 식별하고 이 단층에서 발생할 수 있는 지진의 규모와 재현주기 등을 알아내야 사실에 근거한 신뢰도 높은 지진위험지도와 활성단층위험지도가 만들어질 수 있고 그렇게 하여야 내진설계와 보강도 확고한 과학적 근거위에 실시될 수 있게 된다. 그러므로 국가는 서해에서의 지진단층을 조사하는 장기적 연구계획을 수립하고 예산을 확보하여 체계적으로 단계적으로 실행에 옮겨야 할 것이다.

## 8. 결론

서해지진을 계기로 우리나라 지진대책의 전반에 걸쳐서 그 의미를 검토해보았다. 지진구역설정 등에 서해지진은 직접적인 영향을 미칠 것으로 예상되고 특히 서해에서의 지체구조와 지진단층에 대한 연구가 시급한 것으로 판단되다.

서해지진을 계기로 지진재해대책을 수립하고 시행하는 중책을 맡고 있는 기관과 담당자들에게 다음 사항들을 건의하고 싶다.

첫 번째, 지진을 두려워할 필요는 전혀 없다.

두 번째, 현재 우리나라의 내진기술로 어떠한 지진위험에도 건물과 시설물들을 안전하게 설계하고 건설할 수 있다.

세 번째: 국가는 활성단층이나 지진위험에 대한 정보를 국민에게 사실 그대로 공개하고 타당한 대책을 수립해서 실시한다.

국민이 협력한다면 정부가 지향하는 안전한국을 틀림없이 만들 수 있을 것이다.

## 9. 감사의 글

이 글에 사용된 많은 자료들은 서울대학교 지구환경과학부 박창업 명예교수가 제공하였습니다. 또한 이 글의 아이디어와 주장들의 일부는 박창업 교수, 경재복 교원대학교 교수 그리고 김준경 세명대학교 교수와의 토의에 근거하였습니다. 협조에 감사드립니다 바입니다.