

대수심에서의 Storm Surge Barrier 사례 고찰 A Case Study of Storm Surge Barrier in Deep Water

강주환¹, 박선중², 문승록³

Ju Whan Kang¹, Seon Jung Park² and Seung Rok Moon³

1. 서 론

지구온난화에 따라 발생하는 이상기후, 생태계의 변화, 해수면 상승 등 환경의 물리적 변화는 생태계나 인간생활 전반에 걸쳐 여러 가지 부정적 영향을 미치고 있다. 특히 온난화로 인한 빙하의 용해 및 해수온도의 상승으로 인한 해수체적의 증가는 지구 전체적인 해수면 상승의 주된 요인으로 작용하고 있으며, 이러한 해수면 상승은 20세기 들어 이전에 비하여 빠른 속도로 상승하기 시작하여 21세기에는 그 상승률이 더욱 가속화될 것으로 알려지고 있다(강주환 등, 2005). 해수면 상승은 해안침식, 홍수 및 호우피해의 증가, 저지대의 침수, 염수 침입에 의한 지하수 오염 등 많은 부작용을 수반하게 되며, 해수면 상승이 21세기에 도 지속될 경우 이러한 재해는 더욱 심화될 것으로 판단된다. 이와 더불어 해수온도의 상승으로 인한 태풍의 발생빈도, 강도 및 지속시간이 증가하고 있다는 증거가 다양하게 제시되면서 해안 저지대의 해일피해가 더욱 우려되는 심각한 상황에 이르고 있다. 1980년대부터 이루어지고 있는 연안해역에서의 각종 건설사업 또한 주변 해역에 여러 가지 형태의 환경변화와 함께 국지적인 해수면 상승을 초래하고 있다. 특히 목포해역의 경우 하구언 및 방조제 건설로 인해 주변 해역의 조석환경 변화로 해안 저지대의 침수가 심각한 문제로 대두되고 있으며, 해일환경 변화에 따른 해일고 증대 등으로 인해 몇 년 주

기로 기왕최고극조위가 경신되고 있어 해일발생 가능성이 나날이 증대되고 있다(강주환 등, 2006).

그러나 우리나라의 경우 해안을 따라 많은 도시와 주요 시설물이 발달되어 있는 연안지역에 대한 관리가 매우 중요함에도 불구하고 행정단위별, 시설물별로 산발적으로 이루어져 있는 등 해안재해에 대한 통합 관리체제가 허술하며 사전 예방시스템의 구축보다는 임기응변적인 사후 복구에만 치중하고 있다. 이로 인해 2003년 마산만을 강타한 태풍 '매미'와 같이 해안지역에 발생한 폭풍해일로 인해 4조 8천억원에 이르는 막대한 재산 피해를 가져왔으며, 최근 들어 그 피해 규모도 점차 대형화되고 있어 이상파고, 이상조위, 폭풍해일 등에 의한 피해를 최대한 방지하기 위한 해안방호대책 마련이 시급한 실정이다.

국외의 경우 이러한 방안의 하나로서 만 차폐수문과 같은 해안방호 구조물이 장기간에 걸쳐 계획·건설되고 있다. 그 예로 1953년 북해에서 발생한 강력한 폭풍해일로 인하여 네덜란드 델타지역에서 2000명 정도의 인명피해와 13만ha의 침수피해가 발생한 후 네덜란드 정부에서는 델타 프로젝트라 명명된 일련의 해일방호대책이 마련되었다. 이를 효시로 하여 유럽에서는 해일에 대비한 각종 구조물이 건설되기 시작하였다. 런던을 해일로부터 보호하기 위해 템즈강에 520m의 하폭을 따라 높이 20m, 길이 61m의 만 차폐수문이 건설된 바 있고, 현존하는 최대규모의 차폐수문은 1986년 네덜란드에서 건설한 전장 9km인

1 목포대학교 건설공학부 토목공학전공 교수

2 목포대학교 건설환경협동과정 박사과정

3 목포대학교 내풍·방재기술연구센터

Oosterscheldedam 수문이다. 또한 일본에서는 쓰나미에 대비한 차폐수문이 곳곳에 건설되어 있다.

지구온난화에 기인한 전지구적인 해수면 상승, 이상기후 및 연안구조물 건설에 따른 조석환경변화에 기인한 해일발생 가능성이 나날이 증대되고 있음에 비추어 본 연구에서는 해안 저지대의 방호기술 중 구체적인 방안으로서 만 차폐 수문과 관련된 국외의 다양한 사례조사를 통해 국내 적용 기초를 마련하고자 한다.

2. 수문의 종류 및 특징

2.1 수문의 종류

수문은 수위 및 유량을 조절하기 위하여 유수 단면의 일부 또는 전부를 차단하고 그 높이를 조절할 수 있게 한 구조물로서 일반적인 가동수문 (movable gate)의 종류는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Generic types of gates of movable weirs

Type	Characteristic	Country
Arch gate	• 수로를 가로지르는 양단의 교대에 연결된 3 활절 아치로 해일·범람 발생시 수로를 차단하게 된다.	• Osaka Arch Gate(Japan) • Rhine Visor Weirs (Netherlands and Germany)
Flap gate	• 수로 바닥에 고정된 문틀에 문비가 힌지로 결합된 형태로 평상시 하상에 가라앉혀진 상태로 유지되며 작동시 문비를 밀어올려 차단하게 된다. 흐름에 반하여 상승하기 때 문에 작동시 많은 동력이 필요하다	• Lagan Weir, Tees Barrage(UK) • Libcice-Dolany, Veseli(Czech) • Bremen Weser Weir(Germany) • Montgomery Dam(USA)
Inflatable weir	• 긴 폴무 형태의 수문으로 공기나 물로 팽창시켜 하천에서의 홍수파를 차단시킨다.	• Ramspol Barrier(Netherlands) • Pocaply(Czechoslovakia) • Lechbruck(Germany)
Miter gate	• 일반적으로 선박 운항용 통선문에 사용되며 2쌍의 문짝이 여닫이 문처럼 양쪽으로 개폐되는 것으로 수로 양단의 수위가 같을 때 작동하게 된다.	• Goole Miter Gate(UK)
Radial gate (Taintor Gate)	• 원호로 되어 있어 원의 중심에서 부채 모양의 차수판을 상하로 조작 개폐할 수 있다.	• Upper Meuse(Belgium) • Steti[river navigation weir](Czech) • Stor Storm Surge Barrier(Germany) • Braddock Dam(USA) • Iron Gates[Navigation river weir] • Olt River Lower Course(Romania)
Rolling gate	• 강제 원통형으로 된 문짝의 본체 부분과 그 밑부분에 장치한 방패판으로 구성되어 있는 수문의 형식으로 양쪽 끝에 감은 체인 또는 와이어로프에 의해 경사진 레도를 따라 수문 본체를 감아올리거나 내려 개폐하는 수문이다.	• Trolley Selby Lock Rolling Gate(UK) • Berendrecht Flood Control Rolling Gate (Belgium)
Sector gate	• 하류단에 힌지가 있는 문비를 와이어로 연결된 권양기로 감아 올려 수로를 차단시키며 바닥에 문비를 넣는 홈이 있어 이 곳에 문비를 내려 물을 월류시킨다.	• Roudnice(Czech) • EMS[storm surge/nav. Channel gate] • Mosel River Weir Lehmen(Germany) • Rising Thames River Barrier(UK) • Storm Surge Barrier: Alternative Concepts • Maeslant Storm Surge Barrier(Netherlands) • Amagasaki ock gate(Japan)
Swing gate	• 수로의 양측의 교대에 문비가 수직축으로 접혀있다 수로방향으로 펼쳐지며 물의 흐름을 차단한다. 작동시 동력을 줄이기 위해 부유시킬 수도 있다.	• Bayou DuLarge, Bayou Lafourche Barge Gate(USA) • Floating Storm Surge Barrier : Alternative Concept(Belgium, Netherlands)
Vertical lift gate	• 문비가 수중이나 수로 위에 위치하다가 수직으로 상승·하강하여 개폐하는 형태의 수문이다.	• Beernem Weir, Blanc Pain (Belgium) • Kamihirai Gate, Shinanogawa River Gate(Japan) • Hartel Canal Barrier(Netherlands)

이러한 수문형식 중 해일 및 범람에 대비하기 위한 목적으로 건설된 Storm Surge Barrier 적용 사례는 Table 2와 같다. 표에서 보듯이 수문개폐는 길게는 몇 년에 한번 이루어지는 경우도 있고 매우 자주 이루어지는 경우도 있다. 이들은 다양한

수문형식을 취하고 있어 No.1은 일본 최초의 arch gate이고 No.3은 아직 계획 단계에 있는 것으로서 공기주입에 의한 부양식 flap gate이며, No.4는 공기를 주입하여 팽창시켜 폴무형태의 고무주머니로 홍수파를 막게 되는 형식을 취하고 있다. 또

한 No.7은 원호형 수문이 원형으로 회전함으로써 수문의 개폐가 이루어지는 형식이고 No.8은 평소에 육상부에 위치하고 있는 부채꼴 수문이 하도 중양을 향해 수평적으로 이동하여 해일파를 막게 되는데 교대가 육상에 위치하므로 유지관리에 장

점이 있다. 이들 수문 중에는 No.5, No.6, No.9, No.18과 같이 통선문이 따로 설치되어 있는 경우도 있으며, 대부분 해일에 대비한 목적이지만 No.2 및 No.4를 비롯한 몇 가지는 홍수방지 목적으로 건설된 것이다.

Table 2. Storm Surge Barrier application example

No.	Project Title	Country	Closure	Gate Type	Height(m)
1	Osaka Arch Gate	Japan	2-3/Year	Arch/Visor	11.9
2	Sauer Closure Gate-Short Review	France	Frequent	Flap Gate	7.0
3	Mose Buoyant Flap Gate	Italy	Annual	Flap-Bouyant	28.0
4	Ramspol Barrier	NL	Annual	Inflatable Weirs	8.2
5	Stor Storm Surge Surge	Germany	Frequent	Radial-Single	13.0
6	Eider Barrage(storm surge Barrier)	Germany	Frequent	Radial-Double	11.0
7	Thames River Barrier	UK	5-30/year	Sector-Rising	20.0
8	Maeslant Storm Surge Barrier	NL	Annual	Sector-Vertical	20.0
9	Amagasaki ock gate	Japan	2-3/year	Sector-Vertical	5.5
10	Olmsted Maintenance Bulkheads	USA	Annual	Stoplogs&B/H	5.5
11	Bayou DuLarge : 17m Barge Gate	USA	Annual	Swing	3.7
12	Bayou Lafourche Barge Gate	USA	Annual	Swing	3.0
13	Storm Surge Barrier: Alt. Concept	BE, NL	Frequent	Swing Floating	22.0
14	Beernem Weir	Belgium	Frequent	Vertical Lift	8.0
15	Hartel Canal Barrier	NL	Annual	Vertical Lift	9.3
16	Kamihirai Gate	Japan	2-3/year	Vertical Lift	9.5
17	Shinanogawa River Gate	Japan	2-3/year	Vertical Lift	9.1
18	Hull Barrier	UK	10-30/year	Vertical Lift	10.6

3. 대수심에서의 Storm Surge Barrier 사례

국내 적용대상 후보지는 마산 및 목포 등 서남 해안의 몇 개 지점인데, 대부분 수심이 10-30m 정도이므로 대수심에 적합한 수문형식을 도입해야 한다. Table 2에서 나열된 여러 수문 중 20m 이상의 대수심에 건설된 구조물은 No.3, No.7, No.8, No.13 등이다.

3.1 Mose Buoyant Flap Gate (Fig. 1)

베니스는 1966년 사상 초유의 대홍수(아쿠아 알타)를 겪은 이후, 홍수방지를 위한 근원적인 대책을 두고 무려 30년 이상 토론을 벌여왔으며, 최종 결론으로 선택된 것이 Mose Project(Modulo Sperimentale Elettromeccanico-실증적인 전기기계식 모듈)로 명명된 Mose Buoyant Flap Gate이다. 기본 개념은 베니스의 석호와 아드리아 해가 만나는 4 곳(Lido-Treporti, Lido-S. Nicolo, Malamocco, Chioggia)의 수로에 총 78개의 부상식(浮上式) 수중감문을 45억유로(약 5조4000만원)를 들여 오는 2011년까지 건설하는 것으로 각각의 수문은 지점에 따라 두께 3.6m~5m, 길이 18m~28m, 너비 20m의 다양한 크기로 건설될 예정이다. 수문은 보통 때는 수중에 누워 있다가 외해의 수위 상승시 공

기가 주입되면 상승하여 해수의 유입을 차단함으로써 베니스의 홍수 피해를 막을 수 있도록 계획되었다.

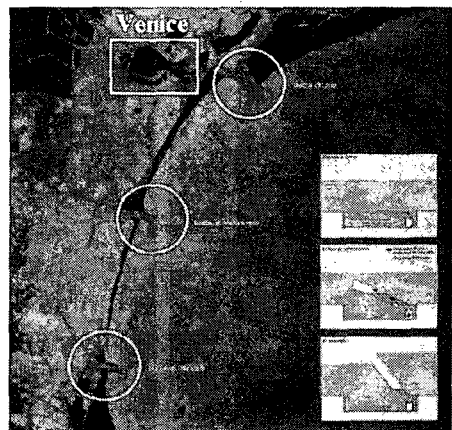


Fig. 1. Venice and Mose Buoyant Flap Gate

3.2 Thames River Barrier (Fig. 2)

Thames Barrier는 Thames 강의 범람으로부터 런던을 보호하기 위해 Thames 강을 가로질러 530m에 걸쳐 9개의 교각과 10개의 수문으로 건설되었다. 설계수심은 17m로 Rising Sector Gate 6문(경간

61m×4문, 경간 31m×2문)과 Falling Radial Gate 4문 (경간 31m×4문)으로 구성되어 있다.

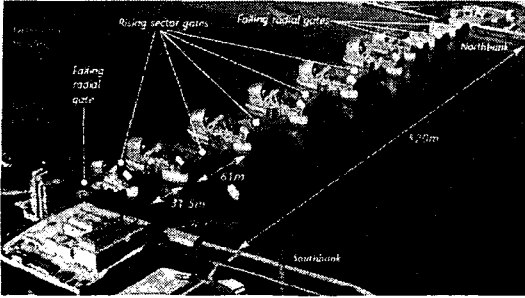


Fig. 2. Thames River Barrier

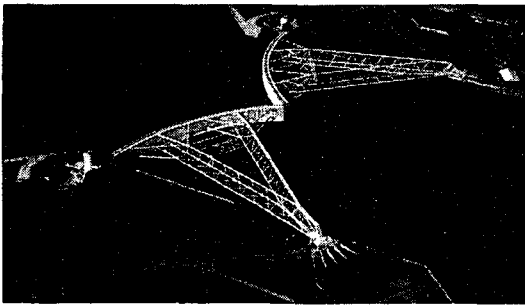


Fig. 3. Maeslant Storm Surge Barrier

3.3 Maeslant Storm Surge Barrier (Fig. 3)

Maeslant Barrier(일명 New Waterway Barrier)는 1997년에 완공한 Delta Project의 마지막 대형 사업으로 해수 침입으로부터 네덜란드 홀란드 지역과 로테르담 항구를 보호하기 위한 목적으로 건설되었다. 강 양안의 육지부에 반원의 수문(경간 360m, 높이 20m)이 Steel Truss Arm으로 연결되어 설치되어 있으며, 5년 빈도 정도의 폭풍·해일 발생시 수문이 강의 중심으로 밀려나와 닫힘으로써 해수의 침입과 하천수의 역류를 막아 강물의 흐름 및 선박 통행에 지장을 주지 않고 항만시설과 인근 도시지역을 안전하게 보호해주는 재해방지 시설이다. 다른 수문에 비해 일반적인 조건(수문이 열린 상태) 하에서 수문이 육상에 위치하기 때문에 유지 관리가 편리하다.

3.4 Storm Surge Barrier : Alt. Concept

Maeslant Barrier 건설초기에 여러 대안 중 한 가지로 검토된 형식이다. Floating Rotating Barrier의 혁신적인 개념으로 건설 또는 가동하는 동안 어떠한 제약 없이 400m에 이르는 장지간의 차단이

가능하도록 설계되었다. 경간 39m, 높이 22m, 폭 54m의 Swing Floating Gate로 설계되었으며 10년 빈도의 폭풍·해일 발생시 수로를 차단하게 된다.

4. 결론 및 제언

지구온난화에 기인한 해일발생 가능성이 나날이 증대되고 있으며 이에 대한 해안방호대책이 시급히 마련되어야 할 실정이다. 이에 본 연구에서는 국외의 다양한 해안방호 구조물 적용 사례 조사를 통해 국내 적용대상 지역의 지역적 특성에 맞는 20m 이상의 대수심 Storm surge barrier에 대하여 살펴보았다.

적용대상 후보지 중 한 곳인 목포해역은 외해와의 연결통로가 3지점(목포구, 중구, 북구)이며, 각 지점에 대한 폭 및 수심의 차이도 그리 크지 않고, 도심 기반이 낮게 형성되어 있는 등 지형 특성이 베니스와 매우 유사하다. 특히 하구언 및 방조제 건설로 인한 조석확폭현상 및 해일환경 변화에 따른 해일고 증대 등으로 해안 저지대의 침수 피해가 심각한 문제로 대두되고 있어 이에 대한 대책마련이 시급한 지역이다. 따라서 베니스에 건설될 예정인 Mose Buoyant Flap Gate(Table 2, No.3)는 가장 최선의 설계와 시공이 이루어질 것으로 예상되고 있어 목포해역의 지역적 특성에 적합한 수문형식 중 하나라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역특성화연구개발사업(C105E1020001-05E0202-00210)에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- 강주환, 문승록, 박선중 (2006). 조석/해일 환경변화를 감안한 고극조위 빈도분석. 대한토목학회논문집, 제26권 제1B호, pp. 99-106.
- 강주환, 문승록, 오남선 (2005). 서남해안의 해수면 상승. 대한토목학회논문집, 제25권 제2B호, pp. 151-157.
- International Navigation Association (2006). Design of movable weirs and storm surge barriers.
- Paulo C.F. Erbisti (2004). Design of Hydraulic Gates.