

노르웨이 Høgsfjord 수중부양터널 (Submerged Floating Tunnel) 계획

지왕률

정회원, 동아건설

1999년 5월 29일부터 6월 3일까지 노르웨이 오슬로에서 열린 제25회 ITA 총회에서는 화염을 이용해 굴착하는 TBM 등 여러 신기술이 소개되었는데 이중 인상적이었던, 공상과학 같은 수중부양 터널계획에 대해 소개하고자 한다.

노르웨이 Høgs 협만(Høgsfjord)을 횡단하는 방법은 여러 가지 방법이 있는데 그중에 수중 부양터널을 이용하는 방법이 있다.

이 보고서에서는 대안적 협만 횡단 방법들 중 수중부양 터널의 특징적인 교통, 에너지 소모 및 환경적 관점을 비교하여 설명해 준다.

1. Høgsfjord 횡단 계획

과거의 협만들은 노르웨이 Rogaland와 노르웨이 서부 해안을 따라 살아가는 사람들의 중요한 운송 루트였다. 그러나 오늘날 그것들은 고속도로 교통의 장애가 되고 있다. Høgsfjord는 Ryfylke에 사는 사람들이 완전히 페리에 의존하게 만들면서 Jæren 지역으로부터 Ryfylke 지역을 분리시키고 있다. 그래서 Ryfylke 지역에 사는 사람들은 공항이나 기차역, 주요 항구, 병원과 극장에 가기 위해 또는 몇몇 중요한 여행 목적지로 가기 위해서는 반드시 페리를 이용해야만 한다.

오늘날 노르웨이 13번 고속도로는 Lauvvik와 Oanes 사이를 운항하는 페리로 Høgsfjord를 횡단하고 있다. 페리 운항은 낮 동안에 30분 간격의 빈번한 운항을 하지만 밤에는 운항하지 않는다. 피크시간동안 수송력에 문제가 일어나면 누구나 다음 운항시간까지 기다려야 한다. 관광객들에게 13번 고속도로는 서부해안을 따라 펼쳐진 협만에 대한 남부 항구일 뿐이다.

2. 대안 횡단 방법

Lauvvik와 Oanes 사이의 가장 좁은 곳은 폭이 1400 m 이고, 최대 수심은 155 m이다. 그러나 바다 밑 바위 표

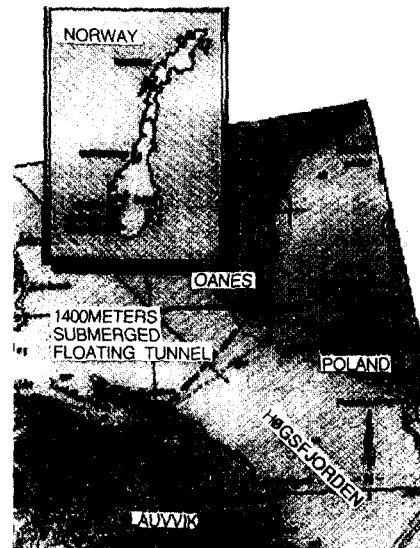


그림 1. Høgsfjord Crossing

면의 깊이가 약 350 m이다. 해저 암반터널(Subsea rock tunnel)은 결과적으로 바다 밑 최저부 400 m 지점을 지나고 있다. 현재와 미래의 선상교통 항해항로를 위해 협만의 중간부분에 100 m의 폭, 45 m의 충분한 높이, 25 m의 충분한 깊이의 공간이 필요하다. 선박 교통은 횡단할 수 있는 지형학적 장소가 요구되어 대안적 협만 횡단 방법을 제한하는 요소가 된다.

협만 연결체계를 고정시키는 세 가지 대안대책이 고려되고 있다. 고정된 연결체계는 매우 비쌀 것이어서 결과적으로는 페리 운항이 여전히 미래에도 횡단의 가능한 방법으로 여겨진다.

그래서 Høgsfjord를 횡단할 수 있는 네 가지 다른 대안이 제시되었다.

- ① 페리 운항
- ② 현수교
- ③ 수중부양터널
- ④ 바다속 암반 터널

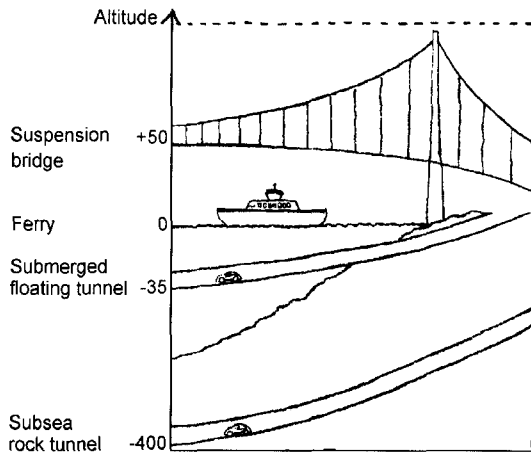


그림. 2. Høgsfjord 횡단방법

표 1. 대안횡단 방법들의 특성

대안횡단 방법	길이	경사	표고 (m)
페리운항	2.1 km	0	0
현수교	1.5 km	30 %	+50
수중부양터널	1.4 km	30 %	-35
바다속 암반 터널	10.8 km	80 %	-400

그림 2와 표 1에서 보는 바와 같이 대안대책은 다른 특징을 가지고 있다.

3. 대안횡단 방법의 고려사항

세가지 문제가 Høgsfjord를 횡단하기 위한 미래대책으로서 품질관리의 필수요소로 간주되고 있다.

1. 운반 및 교통의 질 향상
2. 에너지 소요량 대비
3. 환경적인 면

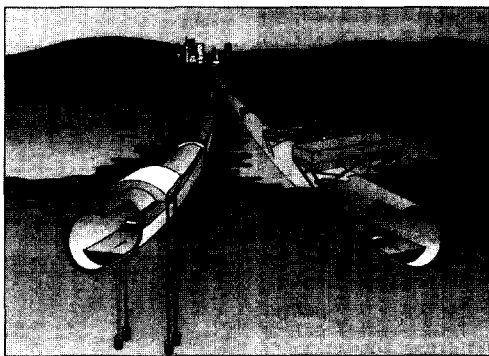


그림 3. 네가지 대안 중 하나인 수중 부양터널

표 2. 통행시간, 대안횡단 방법(거리가 동일한 바다속 지하암반터널)

대안 횡단 방법	승용차	대형 트럭
페리 운항	19 min*	19 min*
현수교	9 min	9 min
수중부양터널	9 min	9 min
바다속 암반 터널	9 min	20-13 min

* 기다리는 시간은 포함하지 않았음.

위에 주어진 네 가지 대안대책의 방법들은 많은 면에서 매우 다르기 때문에 그것들은 교통, 에너지와 환경에 대해 다르게 될 수 있다. 아래에서 이러한 세 가지 면을 다루는 연구 결과가 제시되었다.

4. 교통

페리 운항과 고정된 협만의 연결체계의 가장 중요한 차이점 중 하나는 규칙성이다.

Høgsfjord를 횡단하는 페리 운항은 밤에는 운항하지 않기 때문에 원할 때마다 시간에 구애받지 않고 필요할 때 여행할 수 있는 자유가 제한된다. 게다가 페리는 매 30분마다 운행되기 때문에 매번 이용하고자 할 때마다 0~30분간에 걸치는 시간동안 기다려야만 한다. 만약 페리의 수송 용량이 기다리는 줄의 차량들 보다 적다면 몇몇의 차량들은 또다시 30분간을 더 기다려야 한다.

협만을 횡단하는 시간에 대해서는 표 2가 대안횡단방법 사이의 차이점에 대해 보여주고 있다.

위에서 본 것처럼 승용차의 통행시간은 다른 고정된 협만 연결체계에서는 차이점이 없다. 그러나 페리 운항은 기다리는 시간이 포함되었을 때 걸리는 시간이 3 배나 많았다. 트럭의 통행 시간은 승용차와 같았는데 바다속 암반 터널에선 예외적이다. 길고 가파른 경사도(7-8%)가 짐을 가득 실은 트럭이 1시간에 20-50 km의 속도로 매우 느리게 운행하게 하는 원인이 되어 통행시간이 13-20 분이 걸린다.

차량의 종류에 관계없이 현수교나 수중부양 터널은 가장 짧은 통행시간이 된다. 협만의 횡단은 모든 종류의 교통수단이 횡단 가능해야 하며 도로나 자전거를 이용해서도 횡단 가능해야 한다. 대안횡단 대책들 사이의 차이점을 표 3에 수록하였다.

자전거나 보행으로의 긴 바다속 암반터널을 이용할 수 없다. 수중 부양터널에서 Høgsfjord의 도로나 자전거로의

표 3. 대안횡단 방법에 대한 도보나 자전거를 타는 상태

대안 횡단 방법	도보/자전거 타는 상태
페리 운항	좋음(주간에)
현수교	좋음
수중부양 터널	허용함
바다속 암반 터널	허용하지 않음

횡단에 대한 해결점이 고려되어야 하며 환기와 조명에 대한 요구가 고려되어야 한다.

5. 에너지

페리를 이용하여 차량을 운반하는 것은 연료를 효과적으로 이용하는 방법이 아니다.

Høgsfjord에서의 페리 운항은 1998년에 각각 차량들을 싣고 2.1 km 거리를 운반했을 때 평균 1.7 리터의 연료가 사용되었다. 이것은 차가 같은 거리를 운행하는데 사용되는 연료의 약 10 배이다. 겨울에는 차들이 엔진을 가동시킨 상태에서 페리를 기다리므로 이것 역시 더 많은 연료소비를 증가시키는 요소이다.

미래에는 새로운 타입의 연료가 페리와 자동차에 사용될 것이다. 그러므로 그것은 선택적인 횡단방법을 비교할 때 에너지소비와 밀접한 관련이 있다. 그 결과는 표 4와

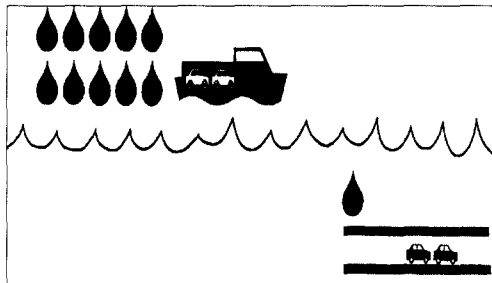


그림 4. 페리를 이용할 때와 차량으로 수중부양 터널을 운행했을 때의 연료소비량 비교

표 4. 고려중인 횡단방법의 에너지 소비

대안 횡단방법	에너지 GJ/Year	페리 오염에 대한 비율 (%)
페리 운항	53800	100 %
현수교	4080	7 %
수중부양터널	3760	7 %
바다속 암반 터널	58600	109 %

같다.

위에서 보는 바와 같이 현수교와 수중 부양터널은 단지 약간의 차이점이 있다.

Høgsfjord를 통과하기 위한 바다속 암반터널방법은 페리 방법에 비해 에너지 소비율이 약 9 % 정도 높다. 가장 중요한 것은 현수교나 수중부양터널 방법으로 선택할 시 페리 연결에 의한 에너지 소비량의 단지 7 % 만 소비한다는 사실이다.

6. 환경

대기오염은 교통량이 낮음에도 불구하고 더욱 더 중요한 요소가 되고 있다. 오염은 페리의 엔진과 차량의 배기 가스의 결과이다. 그것은 과다 에너지 소비에 의한 횡단이며 그 결과는 생각보다 상당히 복잡하다.

표 5와 표 6은 대기오염을 고려한 Høgsfjord를 횡단기 위해 고려중인 시공법상의 차이점을 보여준다.

CO₂ 배출량을 살펴보면 CO₂의 양과 에너지소비량이 상당히 잘 일치한다고 볼 수 있다. 현수교와 수중부양 터널 방법은 이산화탄소의 오염도를 페리 횡단 시의 오염도의 7 %로 감소시킨다. NO_x 배출량을 보면 페리와 현수교, 수중 부양터널의 차이점은 놀라울 정도다.

페리를 통한 지속적인 횡단은 NO_x의 배출량을 현수교 및 수중 부양터널에 비해 약 50 배정도 증가시킬 것이며 또한 바다속 암반터널 역시 현수교 및 수중 부양터널에 비해 NO_x의 배출량이 15 배정도 높아진다고 볼 수 있다.

표 5. 대안 횡단방법별 CO₂ 발생량 및 대기오염

대안 횡단방법	CO ₂ 오염 발생량 (ton/Year)	페리오염에 대한 비율 (%)
페리 운항	3960	100 %
현수교	290	7 %
수중부양터널	270	7 %
바다속 암반 터널	4220	107 %

표 6. 대안 횡단방법에 대한 NO_x 발생량 및 대기오염 현황

대안 횡단방법	NO _x 오염 발생량 (ton/Year)	페리오염에 대한 비율 (%)
페리 운항	106	100 %
현수교	2	2 %
수중부양터널	2	2 %
바다속 암반 터널	32	31 %

표 7. 대안 횡단방법의 경관고려

대안 횡단방법	경관고려	승객에 미치는 영향
페리 운항	부두, 주차지역	페리 여행
현수교	이정표	놀라운 경관
수중 부양 터널	보이지 않음	짧은 터널
바다속 암반터널	보이지 않음	긴 터널

그리고 페리와 현수교는 Lauvvik와 Oanes에 약간의 교통소음을 야기할 수 있다. 반면에 수중 부양터널과 바다속 암반터널은 이러한 문제는 없을 것으로 보여진다. 수중 부양터널은 Fjord의 바다환경에 거의 영향을 미치지 않을 것으로 보인다.

Oanes에서 2개의 Høgsfjord와 Lysefjord가 만난다. 이것은 그 지역의 중요한 경관요소이며, 그리고 인간이 만든 거대한 구조물에 의해서 멋진 경치가 방해받아선 안된다. 그 지역의 어떤 길도 땅과 바다로부터 드러나 있다. Fjord는 여가를 위한 보트통행에 대단히 중요하며, 매년 여름 다수의 여행선이 노르웨이의 협만 체험과 장대한 "Pulpit rock"을 보기 위해 Lysefjord 안으로 들어간다. 페리에 의한 협만 연결은 넓은 주차지역과 부두가 필요하며 이에 따라 해안선을 따라 방해요소가 발생한다. 현수교는 그것의 높은 타워에 거대한 경계표시와 바다 표면 위에 높은 교통로가 있어야 할 것이다. 그 다리는 엄청난 거리로 보여질 것이며 그것은 그 지역의 경관에 부정적인 영향을 끼칠 것이다.

수중부양터널과 바다속 암반터널은 터널입구가 해안선에 있지 않기 때문에 협만에서는 보이지 않을 것이다. 같은 지역의 얼마 전에 개통한 조그만 현수교는 유명한 Lysefjord의 출입구가 되었다. 내 개인적인 생각으로도 Høgsfjord를 횡단하는 매우 커다란 현수교는 환경에 부정적인 영향을 끼칠 것으로 보인다.

7. 결론

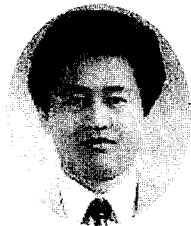
Høgsfjord를 횡단하기 위한 여러 가지 방법에 대한 연구는 교통과 환경, 에너지를 고려한 선택적인 횡단방법에 대한 결과를 보여준다.

교통과 에너지에 대한 질로 본다면 현수교와 수중 부양터널이 페리 연결이나 해저 암반터널보다 훨씬 낫다고 보이며 공기오염 역시 같은 결과로 볼 수 있다.

현수교와 수중 부양터널의 차이점은 경관에 대한 시각성과 미적인 효과이다. 수중 부양터널은 보이지가 않으며 이것은 현수교와 비교해 볼 때 대단한 장점이다.

결론적으로 말해 수중 부양터널은 교통과 환경, 에너지를 고려해 볼 때 Høgsfjord를 횡단하기 위한 최적의 방법으로 간주할 수 있으며 국내에는 수중 부양터널은 고사하고 침매 터널도 1건의 시공사례가 없는 것을 볼 때 이러한 Idea를 채택하여 예산을 편성해준 노르웨이 정부의 기술직 공무원에 대한 경외감이 느껴지는 것이 솔직한 심정이었다.

지 왕 불



1980년 한양대학교 자원공학과, 공학사

1983년 독일 Aachen 공대 디플라마

1986년 한양대학교대학원 공학석사
1992년 호주 NSW대학, 공학박사

Tel : 02-3909-4433

E-mail : wrjee@dongah.co.kr

현재 동아건설산업(주) 설계 시설부장