

기후변화의 ‘불편한 진실’에서 ‘공포의 제국’까지 - 해수면 상승이 교통인프라에 미치는 잠재적 영향 -

- 지구온난화 등의 영향으로 인해 해수면 상승을 포함한 기후변화 문제가 전 세계적인 이슈가 되고 있음
 - ‘기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)’의 보고에 따르면 지구 평균 해수면은 지난 40여 년 동안 해마다 약 1.8mm 상승했으며 지금도 계속 진행 중인 것으로 나타남
- 이러한 해수면 상승으로 해안지역에 거주하는 주민들의 안전과 각종 교통인프라 시설에 미치는 잠재적 영향에 관한 예측과 대비가 요구됨
 - 미국 등 선진국에서는 이에 대한 각종 데이터의 수집과 분석, 취약성 지도 작성 등 장기적인 관점에서 지속적인 모니터링을 수행하고 있음
- 기후변화 문제는 작동 메커니즘이 매우 복잡하고 장기간에 걸친 문제이기 때문에 현재의 상황인식에 따라 기후변화 대책 수립의 시급성에 대한 ‘적극적 지지론(불편한 진실)’에서 ‘과도한 회의론(공포의 제국)’까지 다양한 시각이 존재함
 - 이러한 각 부문별, 계층별 인식의 차를 극복하고 통합하기 위한 새로운 패러다임으로 최근의 ‘저탄소 녹색성장’이 매우 유효할 것으로 평가됨
- 교통부문도 온실가스 배출 감축을 통한 기후변화의 ‘완화’와 기후변화에 따른 ‘적응’이라는 종합적인 접근을 위해 선진국의 다양한 정책제언에 대한 벤치마킹, 체계적 의사결정 과정을 통해 ‘기후변화’라는 새로운 리스크에 대한 관리가 필요함

1. 논의 배경

● 해수면 상승은 진행 중

- 국제적으로 기후변화에 관한 과학적 논의를 주도하고 있는 IPCC¹⁾의 제4차 보고서(2007. 11)에 따르면 해수면 상승은 지구온난화와 더불어 계속 진행 중인 것으로 나타남
 - 지구 평균 해수면은 1961~2003년 동안 매년 1.8[1.3~2.3]mm 내외, 1993년 이후부터는 3.1[2.4~3.8]mm 내외로 상승하였음
 - 이는 해양의 열팽창, 빙하와 만년설(ice cap)의 감소, 극지 빙상의 소실에 의한 것임
- 동 보고서의 온실가스 배출 시나리오²⁾별 전망에 따르면 금세기 말경(2090~2099)에는 20세기 후반부(1980~1999)에 비해 최대 59cm까지 상승할 것으로 분석됨

【 표 1】 21세기 말의 지구평균 지표면 온도와 해수면 상승 추정치

시나리오	온도변화(℃) (1980~1999년 대비 2090~2099년)		해수면 상승(m) (1980~1999년 대비 2090~2099년)
	최적 추정치	예상범위	모델에 근거한 추정범위 (장래 빙하류의 급격한 역학적 변화는 배제)
2000년 농도 유지	0.6	0.3~0.9	-
B1	1.8	1.1~2.9	0.18~0.38
A1T	2.4	1.4~3.8	0.20~0.45
B2	2.4	1.4~3.8	0.20~0.43
A1B	2.8	1.7~4.4	0.21~0.48
A2	3.4	2.0~5.4	0.23~0.51
A1FI	4.0	2.4~6.4	0.26~0.59

- 이 글에서는 이러한 해수면 상승이 교통인프라에 미치는 영향에 관한 미국 교통부 기후변화 및 환경예측 센터(U.S. DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting)의 연구사례³⁾를 소개하고자 함
 - 위 연구는 총 2차 연도로 진행될 예정이며, 본고에서 소개하고자 하는 1차 연도 연구의 대상지역은 워싱턴D.C, 메릴랜드, 노스캐롤라이나, 버지니아주 등 총 4개 지역임

1) 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change).

2) SRES(Special Report on Emission Scenarios)를 사용하였는데 이는 Nakićenović와 Swart(2000)에 의해 개발된 배출 시나리오 중 제4차 보고서(AR4)에서 일부 기후전망의 기초로 사용한 배출 시나리오임.

3) The Potential Impact of Global Sea Level Rise on Transportation Infrastructure. 2008 · 8.

2. 해수면 상승이 교통인프라에 미치는 잠재적 영향

● 분석배경 및 목적

- 전 세계 인구의 절반 이상이 해안으로부터 60km 이내에 거주하고 있으며, 미국은 약 53%의 인구가 해안도시(coastal counties)에 살고 있음
 - 기후변화에 따른 해수면 상승은 해안지역과 그 지역의 교통인프라에 지대한 영향을 줄 것으로 예상됨
- 이 연구는 향후 기후변화에 따른 해수면 상승 등이 미국 동부해안의 교통인프라에 어떤 영향을 미치는지를 개략적(rough)으로 예측한 것임
- 해수면 상승의 영향을 받는 지역과 정도에 대해 지도와 통계치를 제공함으로써 미국 교통부의 정책결정자들에게 해수면 상승이 교통인프라에 미치는 영향에 관한 각종 의사결정을 지원할 목적으로 수행되었음

● 분석방법 및 자료

- IPCC의 시나리오별 해수면 상승 전망치와 해양·지형 및 교통인프라(도로, 철도, 공항, 항만) 계획 등에 관한 각종 GIS 자료를 기초로 [그림 1]과 같은 방법으로 수행됨

[그림 1] 분석방법 및 절차

분석내용	예시	분석내용	예시																																				
<p>[1단계] 수치고도모형(DEMs)을 이용하여 해안지역의 고도를 평가하고 현재와 미래의 해수면 높이를 묘사</p>		<p>[2단계] 해수면 상승 시나리오에서 해일 등으로 영구적 혹은 일시적 범람에 의한 침수지역을 정의</p>																																					
<p>[3단계] 해수면 상승 시나리오에서 해일 등으로 영구적 혹은 일시적 범람에 의해 영향을 받는 교통인프라를 정의</p>		<p>[4단계] 해수면 상승 시나리오에서 영구적 혹은 일시적 범람에 의한 잠재적 피해 정도의 통계치(면적, 총연장 등)를 생성</p>	<table border="1"><thead><tr><th>Type</th><th>Impacted</th><th>Total</th></tr></thead><tbody><tr><td>Area at Height</td><td>0.0</td><td>11.0</td></tr><tr><td>Storm Surge</td><td>7.2</td><td>38.3</td></tr><tr><td>Waves</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Waves+Storm Surge</td><td>1.8</td><td>6.7</td></tr><tr><th>Area Impacted (sq km)</th><td></td><td></td></tr><tr><td>Storm Surge</td><td>30.0</td><td>44.0</td></tr><tr><td>Waves</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>Waves+Storm Surge</td><td>30.0</td><td>44.0</td></tr><tr><th>Total Impacted Area (sq km)</th><td>30.0</td><td>44.0</td></tr><tr><th>Impact Frequency</th><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Impact Duration (km)</th><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>	Type	Impacted	Total	Area at Height	0.0	11.0	Storm Surge	7.2	38.3	Waves	0.0	0.0	Waves+Storm Surge	1.8	6.7	Area Impacted (sq km)			Storm Surge	30.0	44.0	Waves	0	0	Waves+Storm Surge	30.0	44.0	Total Impacted Area (sq km)	30.0	44.0	Impact Frequency	0	0	Impact Duration (km)	0	0
Type	Impacted	Total																																					
Area at Height	0.0	11.0																																					
Storm Surge	7.2	38.3																																					
Waves	0.0	0.0																																					
Waves+Storm Surge	1.8	6.7																																					
Area Impacted (sq km)																																							
Storm Surge	30.0	44.0																																					
Waves	0	0																																					
Waves+Storm Surge	30.0	44.0																																					
Total Impacted Area (sq km)	30.0	44.0																																					
Impact Frequency	0	0																																					
Impact Duration (km)	0	0																																					

- 분석 시 입력한 교통인프라 데이터는 1:100,000 축척의 네트워크 자료를 활용하였으며, 해수면 상승이 각 교통인프라에 미치는 잠재적 영향은 [표 2]와 같이 수치화함

[표 2] 분석 시의 입력데이터와 결과데이터

구분	입력데이터	결과데이터 (해수면 상승이 교통인프라에 미치는 잠재적 영향)	
도로	미국 교통부 연방도로청(FHWA)의 National Highway Planning Network(NHPN)	연장 (km)	지역간도로, 지역내주요도로, 보조간선도로, 국가간선망 주요 시설
철도	미국 연방철도청(the Federal Railroad Admin.)	연장 (km)	철도
공항	TeleAtlas(ESRI's Street Map Pro)에서 추출한 공항경계 및 활주로	면적 (Acres)	공항시설 및 활주로
항만	DOQQ(Digital Orthophoto Quarter Quadrangle) 3개 항: 볼티모어(MD), 노퍽(VA), 월밍تون(NC)	면적 (Acres)	항만시설

● 분석결과

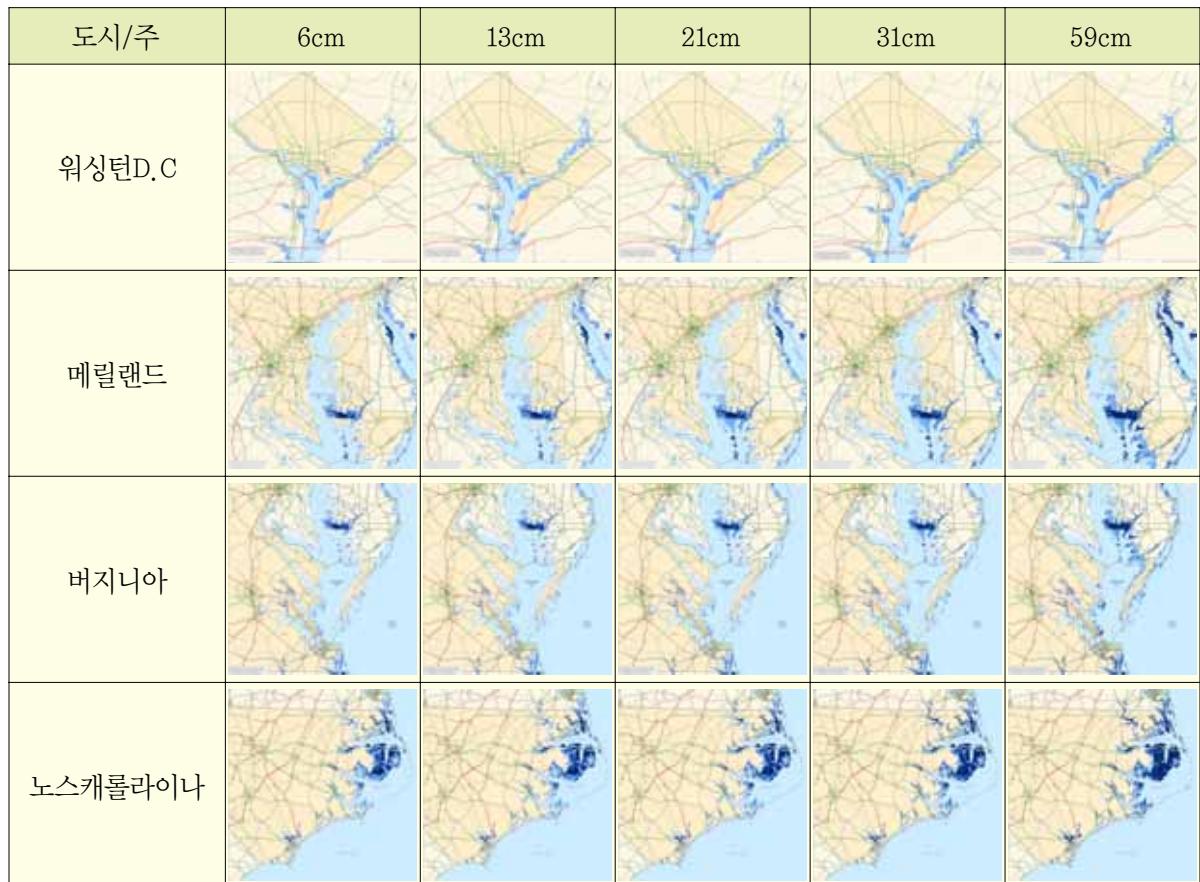
- [표 3]은 해수면 상승 높이가 59cm인 경우, 메릴랜드주의 각 교통인프라에 미치는 영향을 통계치로 제시한 결과임
 - 상습침수(Regular Inundation)지역의 면적이 23만 6581에이커, 일시적 범람(At-risk)에 의한 피해지역의 면적이 23만 7971에이커로, 잠재적 영향지역이 총 47만 4552에이커에 달하는 것으로 분석됨

[표 3] 해수면 상승 시나리오에 따른 교통인프라 잠재적 영향 정도(메릴랜드, 59cm인 경우)

State of Maryland Statistics		59 cm						
Increase in Eustatic SLR		Regular Inundation			At-Risk		Total	
Length	Km	% Affected	Km	% Affected	Km	% Affected	Acres	% Affected
Interstates	0.1	0%	2.3	0%	2	0%		
Non-Interstate Principal Arterials	6.5	0%	14.4	1%	21	1%		
NHS Minor Arterials	8.5	1%	57.3	4%	66	4%		
National Highway System (NHS)	5.3	0%	13.4	1%	19	1%		
Rails	5.5	0%	38.2	1%	44	2%		
Area	Acres	% Affected	Acres	% Affected	Acres	% Affected	% Affected	
Ports	186	20%	111	12%	298	32%		
Airport Property	65	1%	81	1%	147	1%		
Airport Runways	0	0%	2	0%	3	0%		
Total Land Area Affected	236,581	4%	237,971	4%	474,552	8%		

- 지역별, 해수면 상승 시나리오별로 교통인프라에 미치는 잠재적 영향을 [그림 2]와 같이 지도로 나타내고, 이를 정책결정자에게 제공함

[그림 2] 해수면 상승 시나리오에 따른 교통인프라 잠재적 영향 지도



3. 시사점

- 기후변화의 ‘불편한 진실(적극적 지지론)’에서 ‘공포의 제국(과도한 회의론)’까지⁴⁾

- 해수면 상승 등 기후변화 문제는 전 지구적 대책 수립의 시급성에 대한 ‘적극적 지지론’에서 ‘과도한 회의론’에 이르기까지 다양한 시각이 존재함

4) ‘불편한 진실(An Inconvenient Truth)’은 미국의 45대 대통령이자 2007년 노벨상 수상자인 엘 고어의 대표적인 저서이자 동명의 영화로도 제작된 바 있으며, ‘공포의 제국(State of Fear)’은 「쥐라기 공원」의 작가인 마이클 클라이튼(2008년 사망)의 소설제목이다. 이 두 저서는 모두 지구온난화 등 기후변화 문제를 소재로 다룬 것으로 그 주장과 시각에는 차이가 존재하나, 결국은 ‘환경’을 중요한 사회적 이슈로 바라보고 있다는 점에서는 공통된다고 할 수 있다. 이렇듯 지구온난화 등 기후변화 문제는 전 지구적(Global)인 거대한 담론이라 할 것이다.

- 이러한 각 부문별, 계층별 기후변화 문제에 대한 인식의 차를 극복하고 통합하기 위한 새로운 패러다임의 제시가 필요하며, 이를 위해 ‘저탄소 녹색성장’이 매우 유효할 것으로 평가됨
- 최근 발표되는 교통부문의 ‘저탄소 녹색성장’ 관련 정책은 온실가스 배출 감축 등 기후변화의 ‘완화(Mitigation)’에 치중한 편이나, 이와 함께 기후변화에 따른 ‘적응(Adaptation)’ 관련 정책도 균형 있게 제시될 필요가 있음
- 한편, 해수면 상승 등의 이슈는 기후변화 문제에 대한 국민적 공감대 형성 및 자발적 참여 유도를 위해 효과적일 수 있음
 - 그러나 취약지역의 자산가치 하락 등을 이유로 해당 주민의 반발 등이 우려되므로, 분석의 전제, 자료의 미비로 인한 한계, 결과해석의 유의점 등을 고려하여야 함
 - 이를 위해서는 무엇보다도 기초데이터의 축적, 각 부문별 취약성 지도의 제작, 관련 연구개발 및 지속적인 모니터링이 필요함

4. 정책제언

● 선진국의 다양한 정책제언에 대한 벤치마킹 필요

- 2008년 6월, 미국 의회에 보고된 NRC(National Research Council)의 보고서⁵⁾에는 14 개의 정책제언(Recommendations)이 수록되었음
 - 주목할 만한 것들은
 - ① 장기계획 수립 시 기후변화 요소의 고려 의무화
 - ② 교통-기후변화 관련 정보센터의 설립 및 범부처 워킹그룹 등 조직정비 측면
 - ③ 데이터 생산, 의사결정지원시스템 및 모니터링 기술 개발 등 관련 연구의 적극적인 장려
 - ④ 취약성 지도 작성 등을 통한 보험제도 정비
 - ⑤ 법·제도 등 중앙정부와 지방정부 간 협력체계 마련
 - 등을 들 수 있음

5) TRB SR 290. 2008. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation.

- 이는 우리나라의 실정과 완벽하게 부합하지는 않겠지만 교통부문의 기후변화에 대비한 일반적·종합적인 정책방향 설정에 상당한 시사점을 제공함

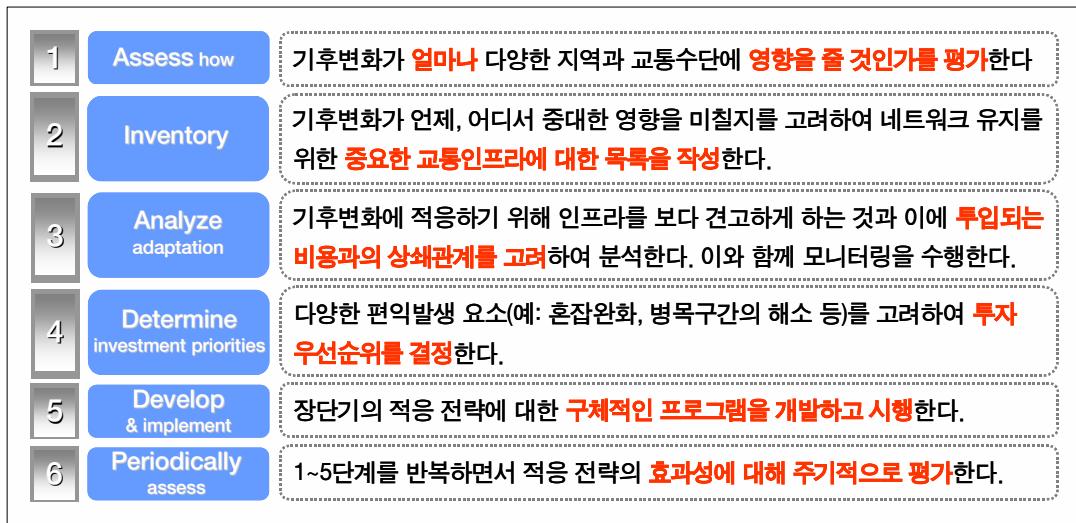
【그림 3】 기후변화에 대비한 정책제언(Recommendations)

1	중앙 및 지방정부, 인프라시설(항만, 공항, 철도, 파이프라인 등)의 운영 및 소유기관 간 협력을 통해 중요 교통인프라에 대한 목록을 작성 한다.
2	중앙 및 지방정부, 민간인프라 공급자들은 장기적인 투자계획, 시설설계, 유지관리 및 운영, 긴급상황대처계획 등에 기후변화 요소를 반드시 고려 한다.
3	교통계획가 및 기술자들은 비용대비 효과를 고려한 설계와 불확실성을 감안한 투자분석 을 하고, 이러한 비용과의 상쇄관계에 대해서는 정책결정자에게 잘 설명하여야 한다.
4	환경청, 교통부, 지리조사국 등 유관기관과의 협력을 강화하고 교통전문가, 기후전문가, 기타 관련 연구자들이 함께 활용할 수 있는 교통-기후변화 관련 정보센터를 설립 하여야 한다.
5	각 정부 및 대학 등의 기후관련 데이터 생산 및 교통관련 기후변화에 대한 의사결정지원시스템을 개발 하는 데 지속적으로 힘써야 한다.
6	교통관련 부서 및 서비스공급자는 긴급상황 대응 및 피난 계획을 수립하여 어느 곳의 인프라가 적절한지에 대한 실질적인 경험을 공유 해야 한다.
7	주요 교통시설에 대한 날씨 및 기후의 극심한 영향에 대해 미리 경고하고 미연에 방지할 수 있는 모니터링 기술의 개발 및 시행을 적극 장려 해야 한다.
8	다양한 교통관련 전문연구기관들은 기후변화의 잠재적 영향에 대한 우수사례에 대해 적극 공유 할 수 있는 체계를 정립 하여야 한다.
9	교통부의 주도하에 미래의 기후변화를 감안하여 기존의 설계기준을 재평가하고 새로운 설계기준을 개발 하는 연구에 예산을 즉각 지원해야 하며 이는 의회의 예산심의를 거치도록 한다.
10	단기적으로 취약한 지역의 인프라시설 을 높은 기준으로 재건하는 데에 예산을 지원 하며, 소실된 교통서비스를 신속히 복구할 수 있는 통신 및 전력시스템 을 갖추는데 예산을 지원해야 한다.
11	교통부는 기후변화 적응(adaptation) 을 중점적으로 논의하는 관계부처 합동의 워킹그룹(WG)을 주도적으로 만들어야 한다.
12	공공부문의 장기적인 교통계획을 수립할 때, 기후변화를 계획요소로 고려 하도록 하는 계획규제가 필요하며, 교통-토지이용의 통합된 의사결정 을 위한 각 분야 간의 보다 더 강화된 협력이 필요하다.
13	재난방재청(FEMA)은 침전/폭풍 등의 요소를 감안하여 홍수보험률지도(FIRMs)를 재작성 해야 하며, 적어도 해수면 상승의 영향을 받는 해안지역의 홍수지도(flood zone maps) 를 우선 갱신 해야 한다.
14	중앙 및 지방정부 간 기후변화 영향을 감축하고 대응하는 데 필요한 법적 장치를 마련하기 위한 각종 지원과 혜택이 고려 되어야 한다.

● 실효성 있는 정책을 위한 체계적 의사결정 과정의 필요

- 또한 동 보고서에서는 교통부문의 기후변화에 대한 다양한 정책수립을 위해 6단계의 체계적인 의사결정 틀을 제시하고 있음
 - 각 교통인프라별로 체계적인 의사결정 과정을 통해 교통부문의 기후변화에 대비한 실효성 있는 정책수립 및 집행이 요구됨

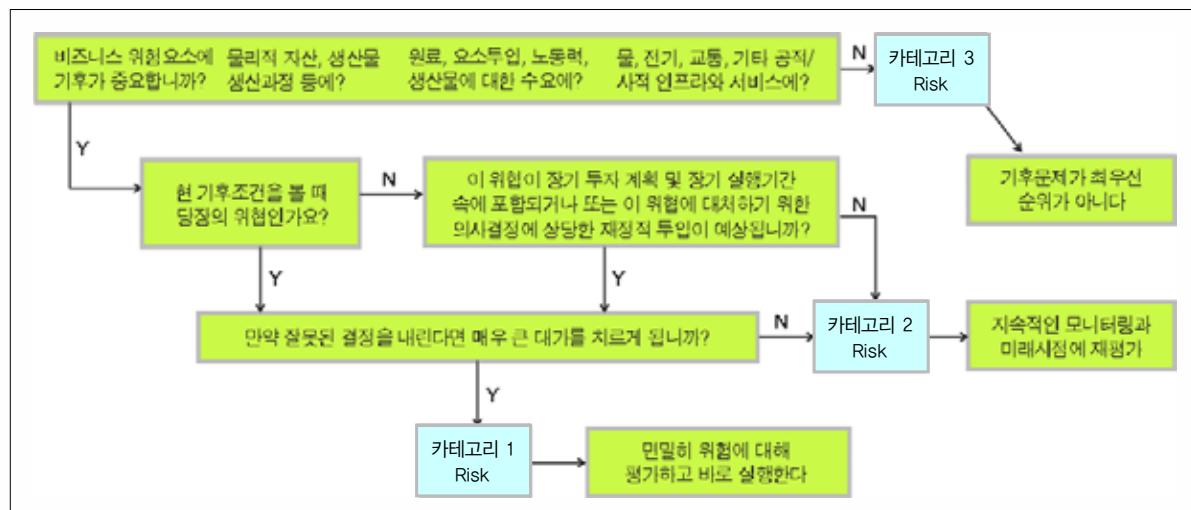
[그림 4] 6단계 의사결정의 틀(Decision Framework)



● 결국 ‘기후변화’라는 리스크 관리가 중요

- 교통부문을 비롯한 사회 전 분야에 걸쳐 ‘기후변화’라는 리스크(risk)가 중요하게 대두될 것이며 [그림 5]와 같은 검토과정 등 이에 대한 체계적인 관리가 요구됨

[그림 5] 비즈니스에서의 기후변화 위험에 대한 스크린(screen) 과정



자료: F.G. Sussman, J.R. Freed. 2008. Adapting to Climate Change: A Business Approach.

● 국토연구원 국토인프라 · GIS연구본부 고용석 책임연구원 (031-380-0363, ysko@krihs.re.kr)