

생태계모델을 이용한 갯벌의 환경변화예측 Environmental Prediction Simulation of Tidal Flat Using Ecosystem Model

김규한¹ · 신범식¹ · 편종근²
Kyu Han Kim¹, Bum Shick Shin¹, and Chong Kun Pyun²

1. 서 론

최근, 국내에서는 자연의 보호와 가치를 배려한 개발의 필요성과 그에 수반한 환경의 다양한 가치가 국민들 사이에 인식되기 시작했다. 때문에 요즘은 개발계획에 있어서 환경창조, 친환경, 또는 Mitigation 등의 캐치프레이즈 하에 구체적으로 지속 가능한 개발이 가능토록 계획되고 있다. 아울러 생태계 기능을 고려한 새로운 공법의 도입이 환경영향평가의 일부로서 실시되게 되었다. 이 같은 환경영향평가 항목에는 생태계의 평가가 포함되어 있다. 또한 훼손되어가는 연안역 갯벌을 관리하고, 그 현재상황의 파악과 예측함에 있어서 갯벌의 현황조사 및 데이터의 구축, 개발에 의한 영향을 예측할 수 있는 컴퓨터 수치모형의 개발이 필요하다.

일반적으로 갯벌생태계의 변화를 나타내기 위해서는 생태계를 부유생태계와 저생태계로 구분할 수 있다. 생태계모델은 비보존성 물질인 유기물, 질소, 인 등의 영양염류 및 동·식물plankton 등의 생물의 구성요소를 포함하고 있어서 물질순환의 해석이 가능하고 또한 유체역학 모델의 해수유동 결과와 연계되어 있기 때문에 연안의 수질 및 갯벌의 정화능력을 산정하는데 있어서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현지관측자료와 해수유동수치모형 실험에 의해 대상갯벌로의 유입되는 유량을 산출하고 부유생태계 및 저생태계의 변화를 동시에 고려하는 갯벌생태계수치모형실험을 수행하여 대상지

역의 질소(N), 인(P), 탄소(C)의 흐름을 파악하고, 이를 기초로 하여 갯벌정화능력을 산정하고자한다.

2. 대상해역의 설정

본 연구의 대상해역은 큰 조석간만(대조차 8.14m)의 변화와 간사지의 발달로 수괴의 유통이 원활하고, 먹이가 풍부하여 다양한 해양생물들의 서식처로서 천혜의 조건을 갖추고 있는 영종도 갯벌지역으로 설정하였으며, 그 위치는 다음 Fig.1 과 같다.

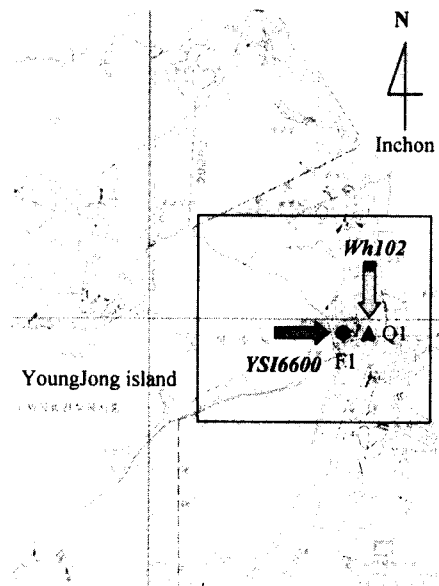


Fig. 1. Investigation Site.

¹ 관동대학교 건설환경시스템공학부 해안항만전공 (Division of Civil and Environmental System Engineering, Kwandong University, Yangyang, Kangwondo 215-802, Korea)

² 명지대학교 SOC 공학부 토목환경공학과 (Dept. of Civil & Environmental Engineering, Division of Civil and Transportation Engineering, Yongin, Kyougido 449-728, Korea)

3. 연구내용 및 방법

3.1 현지관측

갯벌의 정화능력을 평가하기 위하여 영종도 남쪽 갯벌에서 창조와 낙조시 조수의 이동 길목이 될 수 있는 정점(수심: 고조시 약 8m, 낙조시 약 2.5m)에서 2001년 9월 8일부터 2000년 10월 8일까지 1개월간 조류의 유향을 파악하기 위하여 WH·102를 이용하여 연속조류 및 조석을 관측하였다. 수질현황을 파악하기 위해서는 YSI6600를 이용하여 Temp, Salinity, Turbidity, Do, Do 포화도, chlorophyll의 자료를 수집하였다.

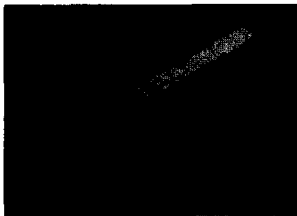


Fig. 2. Measuring Gage

(YSI6600, WH102).



와 S₂분조의 함에 대해 반일주조를 택하였다. 또한, 조사대상해역에 대한 조류유동 수치모형실험에 있어서 사용된 계산상의 주요 입력조건은 다음과 같다.

- (1) 계산상의 시간 Step (Δt): 10sec
- (2) 계산격자: X=22.5km, Y=14.4km
- (3) 격자간격: dx=dy=100m
- (4) 수평확산계수 = 100,000 cm²/sec (Dir X=Dir Y)
- (5) Coriolli Factor = 0.0



Fig. 3. The grid system.

식물 plankton은 현장에서 Vandorn 채수기를 이용하여 1m 수심에서 채수하여, Sedgewick Rafter Chamber에 넣고 Simonsen (1974)의 분류체계에 따라 종수준까지 분류하였다. 동물 plankton은 여수계 (Flow meter)가 부착된 북태평양 표준네트를 사용하여 각 정점에서 수직 채집하여, Bowman and Abele(1982)의 분류체계에 의해 해부 현미경으로 분류하였다. 또한 저서생물은 저서동물 채집기 (Person grab)를 사용하여 채집한 뒤 물체질(체구경: 30cm, 체그물눈 크기: 1mm)하여 생물만 선별한 뒤 Back(1989)의 분류체계에 따라 해부현미경으로 분류하였다.

3.2 해수유동실험

본 실험은 대상해역의 해수유동상황을 파악하고, 이를 통하여 갯벌생태계모형실험의 입력자료를 산출하는데 그 목적이 있다. 현지관측에서 얻어지는 유속 및 유향자료를 이용하여 수치모형실험의 결과를 비교·검토하여 실험의 정확성을 높이도록 한다.

계산영역은 Fig.3에서 보이는 바와 같이 정방격자를 구성하여 수행하였으며, x, y 방향의 격자크기를 각각 100m로 하였으며, 경계조건에서의 조위입력조건은 기존자료 및 현지관측자료를 이용하여 M₂분조

해수유동의 계산에 있어서는 단층2차원 천수방정식을 이용하였으며, 기본식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{H^{7.5}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{H^{7.5}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial M}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서 x, y, t 는 공간좌표와 시간, η 는 수위, M, N 은 수평 선유량성분이고, g 는 중력가속도, $H(=h+\eta)$ 는 실제의 수심, h 는 정수시

의 수심이며, n 은 Manning조도계수이며, K_H 는 수평혼합계수이다.

3.3 갯벌 생태계수치모형실험

본 연구에서 수행된 갯벌생태계수치모형실험은 기존의 일반적인 생태계수치모형실험에서 고려하지 않았던 저생태계를 고려할 수 있는 모델이다.

따라서, 저생태계와 부유생태계를 동시에 고려함으로써 갯벌의 정화능력을 보다 더 효과적이고, 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

모델의 기본개념은 다음의 모식도로써 나타낼 수 있다.

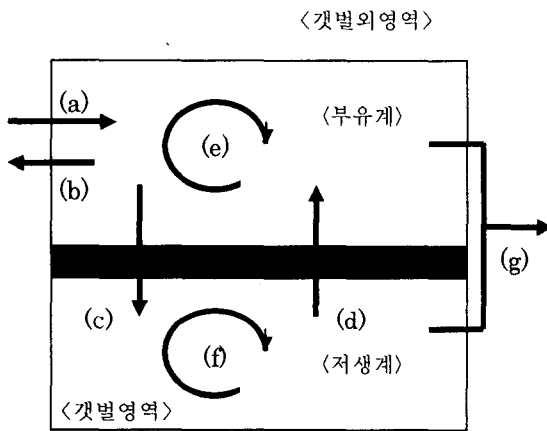


Fig. 4. Conceptual diagram of ecosystem model.

Fig.4에서 나타내는 바와 같이 갯벌 생태계는 크게 부유계와 저생계로 구분할 수 있으며, (c), (d), (e), (f)는 갯벌영역에서의 순환 및 변환을 나타낸다.

(c), (d)는 부유계와 저생계사이에서의 물질순환을 고려함을 의미하며, (c)는 부유계에 대한 저생계의 수질정화의 역할을 나타내고, (d)는 반대로 수질오탁의 역할을 나타낸다.

(a)와 (b)는 갯벌영역에서 갯벌외영역으로의 물질 및 유량의 유·출입을 나타내고 있으며, 여기에서 (a)<(b)인 경우에는 물질을 방출함을 의미하며, 반대로 (a)>(b)인 경우에는 오염물질에 대한 수질정화기능이 우수하다는 것을 나타낸다. 이것을 갯벌의 수질정화능력(Sink)라고 판단할 수 있다.

(g)는 갯벌영역에서 오염물질이 제거되어 제외로의 방출을 의미하는 단계이다.

모식도에서 나타내는 (e)와 (f)의 과정에서 광합성, 호흡, 고사, 세포외분비, 피식, 침강, 섭식, 호흡 (배설), 배분, 사망등의 과정을 현지관측자료와 수집된 자료

를 근거로 그 상관관계를 유도하여 Table.1에 나타난 입력자료를 이용하여 그 변화를 계산하게 된다.

Table.1 Input Data of Model Computation

	탄소	질소	인	
부유계	식물 plankton	PPHY		
	동물 plankton	PZOO		
	현탁태유기물	PPOC	PPON	PPOP
	용존태유기물	PDOC	PDON	PDOP
	NH ₄ -N		PNH4	
	NO ₃ -N		PNO3	
	PO ₄ -P			PPO4
표층계	해조	WEED		
	해초	GRASS		
저생계	Bacteria	BBAC		
	부착조류	BDIA		
	Meiobenthos	BMEI		
	퇴적물식자	BDF		
	현탁물식자	BSF		
	Detritus	BPOC	BPON	BPOP
	간극수중용존물질	BDOC	BDON	BDOP
계	간극수중 NH ₄ -N		BNH4	
	간극수중 NO ₃ -N		BNO3	
	간극수중 PO ₄ -P			BPO4
	흡착태 NH ₄ -N		BDNH4	
	흡착태 PO ₄ -P			BDPO4

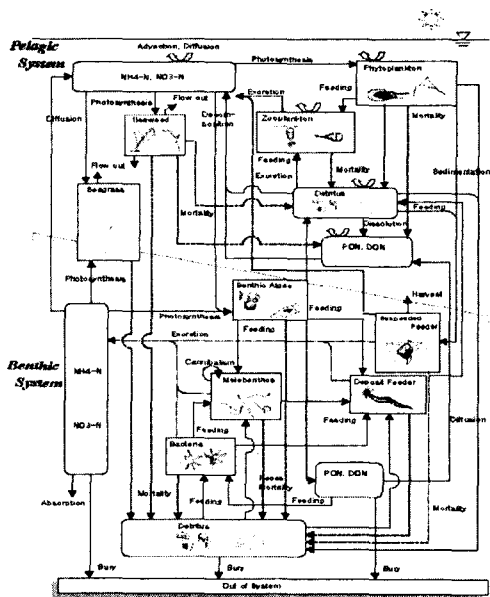


Fig. 5. Conceptual diagram of ecosystem model.

4. 결과 및 고찰

4.1 현지관측결과

대상해역의 남쪽갯벌에서 창조와 낙조시 조수의 이동 길목이 될 수 있는 정점에서 조수의 2주기 동안 조수의 이동에 따른 수질의 변화를 조사해 본 결과 대부분의 수질 항목이 저조시에 최고치를 나타내며, 최대창조시보다 최대 낙조시에 오히려 높은 수치를 나타냄으로서 바다의 오염물질들이 갯벌에서 제거되기 보다는 오히려 추가되어 외해로 나가는 것을 알 수 있었다.

Fig.6은 YSI6600으로 관측된 수질요소의 시간적 변화를 나타내며, Table.2은 현지관측에서 수집된 저질자료를 정리한 것이다.

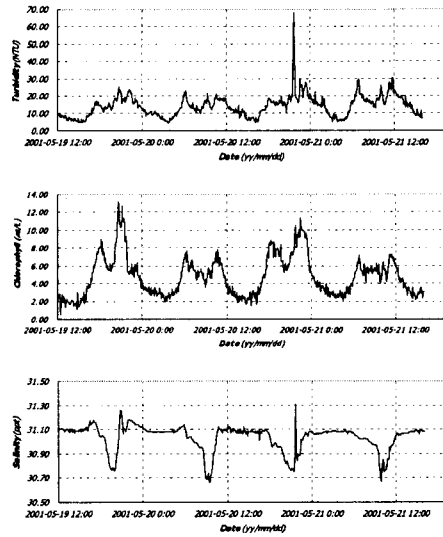


Fig.6. Results of Field Observation.

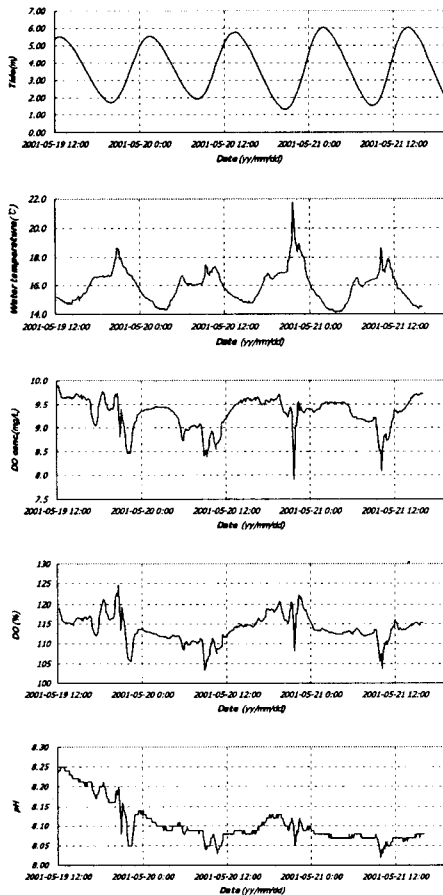


Table 2. Results of Field Observation (benthic)

	출현종명	출현종명
식물플랑크톤	<i>Asterionella japonica</i>	Anthozoa
	<i>Chaetoceros compressus</i>	Nemertina
	<i>Chaetoceros spp.</i>	<i>Magelona japonica</i>
	<i>Eucamoia zodiacus</i>	<i>Africidea jeffreysii</i>
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>
	<i>Nitschia seriata</i>	<i>Prinospio sp.</i>
	<i>Plagiogramma vanheurckii</i>	<i>Haploscoloplos elongatus</i>
	<i>Thalassiosira spp.</i>	
동물플랑크톤	<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>Cobbius spl.</i>
	<i>Paracalanus parvus</i>	Unidentified spl.
	<i>Clanus sinicus</i>	<i>Pholis fangi</i>
	<i>Acartia bifilosa</i>	<i>Ammodytes personatus</i>
	<i>Acartia omorii</i>	<i>Engraulis japonicus</i>
	<i>Acartia sp.</i>	<i>Acanthogobius flavimanus</i>
	<i>Centropages gracilis</i>	Cynoglossidae
	<i>Centropages abdominalis</i>	<i>Cheturichthys stigmatias</i>
	<i>Corycaeus sp.</i>	<i>Acanthogobius hasta</i>
	Hydroida	<i>Mugil cephalus</i>
<i>Copepoda copepodite</i>	<i>Sygnathus schlegeli</i>	
<i>Copepoda nauplius</i>	<i>Engraulis japonicus</i>	



Fig. 7. Computed Current (Max.Spring).



Fig. 8. Computed Current (Max.Ebb).

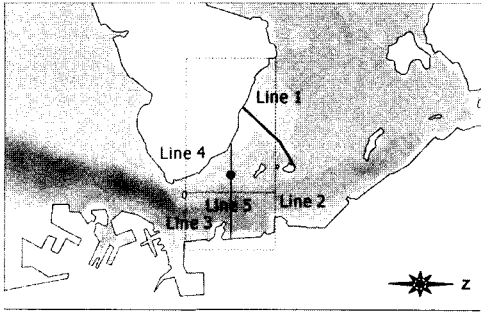


Fig. 9. Zones of Flux Computation (line1~Line5).

4.2 해수유동실험결과

대상해역의 흐름은 영종도와 자월도 부근에서 유입되어 팔미도의 서측수로와 동측수로로 분리되었다가 다시 합류하여 인천해역으로 유입되며, 낙조류는 이와 반대현상을 나타낸다. 수로폭의 축소와 인천항 입·출항로에 의하여 수심이 깊어짐에 따라 유속이 증가되는 현상을 알 수 있었다.

창조시와 낙조시의 유속·유향의 분포는 Fig. 7~Fig. 8에 나타내고 있으며, 생태계수치모형실험의

입력자료로 사용되는 유량 및 유향은 Fig.9의 영역으로 구분하여 산정한다.

4.3 갯벌 생태계수치모형실험결과

갯벌생태계 수치모형실험에서는 대상해역을 두개의 영역(갯벌; Box1, 해역: Box2)으로 나누어 계산을 실시하였으며, 각각 질소(N), 인(P), 탄소(C)에 대한 흐름을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

실험결과에서 나타내는 바와 같이 저생생태계와 부유생태계의 흐름을 알 수 있으며, 갯벌의 수질정화능력은 영양염, 식물Plankton, 동물 Plankton, Detritus, 용존태유기물의 외부로의 유출되는 질소의 합으로 산정할 수 있다. 갯벌지역(Box1)에서의 T-N(Total Nitrogen)으로 $11\text{mgN/m}^2/\text{day}$ 의 수질정화능력(Sink)이 있다고 판단 할 수 있으나, 갯벌 이외의 지역에서는 약 $20\text{mgN/m}^2/\text{day}$ 의 부하(Source)가 발생하고 있다. 이점으로부터 갯벌지역의 수질정화능력은 대상해역의 수질에 중요한 역할을 담당하고 있다고 나타낼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 영종도 갯벌지역의 수질정화능력을 산정하기 위해 현지관측을 통한 기초 데이터의 수집 및 해수유동수치모형실험과 생태계수치모형실험을 수행하였다. 현지관측을 통한 수질자료와 저생생태계의 자료를 수집하였다. 대상해역은 영종도 국제공항 신항만건설로 인하여 최근 매립이 가속화되고 있는 해역으로 관측자료에서 나타나는 바와 같이 갯벌의 정화능력을 점차 상실하고 있는 것으로 나타나고 있다.

이에 생태계수치모형실험에서 얻어진 결과 갯벌지역은 $11\text{mgN/m}^2/\text{day}$ 의 수질정화능력(Sink)을 갖고 있는 것으로 계산결과 나타났으며, 갯벌 이외의 지역에서는 $20\text{mgN/m}^2/\text{day}$ 의 부하(Source)가 발생하고 있다. 계산결과로부터 갯벌지역의 수질정화능력은 대상해역의 수질에 중요한 역할을 담당하고 있다고 나타낼 수 있다.

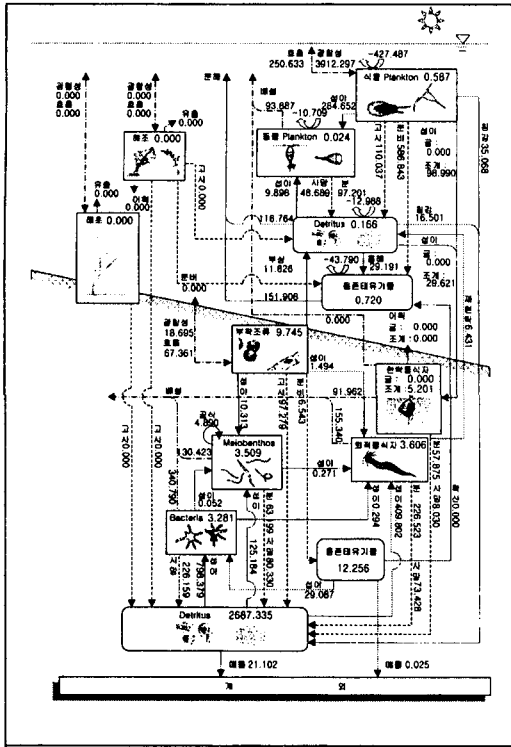


Fig.10. Results of Computation (Box1, C).

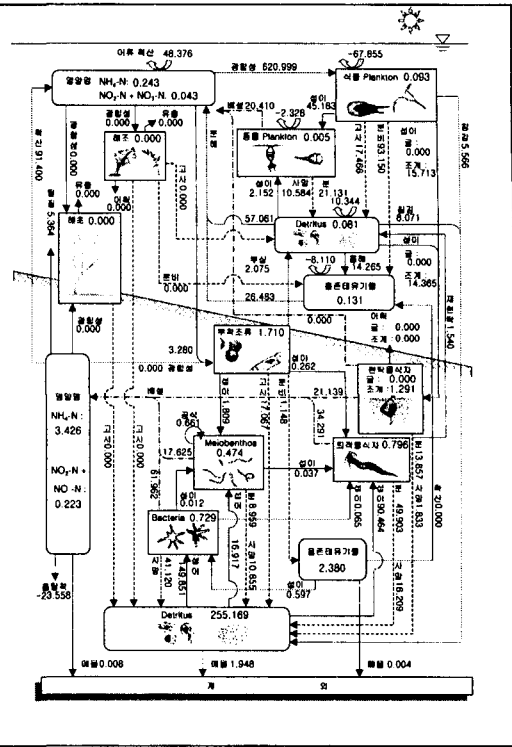


Fig.11. Results of Computation (Box1, N).

참고문헌

中田 喜三郎, 畑 恭子(1994)沿岸干潟における浄化機能の評価. 水環境學會誌, 17(3): 158-166.
 鈴木 輝明, 青山 裕晃, 畑 恭子(1997)干潟生態系モデルによる窒素循環の定量化 - 三河灣一色干潟における事例 -. 海洋理工學會誌, 3(1): 63-80.
 寒川 喜三郎, 日色 和夫(1996): 最新の底質分析と化學動態. 初版, 技法動出版, 東京. 佐々木克之(1989)干潟域の物質循環, 沿岸海洋研究ノート, 26, 172-190.
 社團法人 産業環境管理協會(1994): 平成5年度 福山・笠岡地區海況及び生態調査 現地調査報告書
 社團法人 日本水産資源保護協會(1992): 漁場保全機能定量化事業報告書 - 第I期とりまとめ -
 Karsen Reise, 1985. Tidal Flat Ecology, An experimental approach to species Interaction, Springer-verlag
 Baretta, J. and P. Ruardij, 1988. Tidal Flat Estuaries, Simulation and Analysis of the Ems Estuary, Ecological studies 71, Berlin Heidelberg New York Springer-Verlag, p. 353.

Kremer, J. N. and Nixon, S. W. (1978): A Coastal Marine Ecosystem. Springer - Verlag, Berlin.